

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ): Отделение химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование целесообразности использования биодизельных топлив в качестве смесового компонента товарных дизельных топлив

УДК 665.75.048.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Торчакова Ольга Михайловна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Киргина Мария Владимировна	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Гуляев Милий Всеволодович	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Юрьев Егор Михайлович	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

18.03.01 Химическая технология

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-1, 2, 3, 19, 20), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), CDIO (пп. 1.1, 4.1, 4.3, 4.8)
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач.	Требования ФГОС (ПК-7, 11, 17, 18, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), CDIO (пп. 1.1, 3.2, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии.	Требования ФГОС (ПК-1, 5, 8, 9, ОК-2,3), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), CDIO (пп. 1.2, 2.1, 4.5)
P4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-11, 26, 27, 28), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), CDIO (пп. 1.3, 4.4, 4.7)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий.	Требования ФГОС (ПК-4, 21, 22, 23, 24, 25, ОК-4,6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), CDIO (п. 2.2)
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6, 10, 12, 13, 14, 15, ОК-6, 13, 15), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), CDIO (пп. 4.1, 4.7, 4.8, 3.1, 4.6)

Общекультурные компетенции		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5, 9, 10, 11), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), CDIO (п. 2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 7, 8, 12), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), CDIO (п. 2.4)
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-14), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), CDIO (пп. 3.2, 3.3)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве , ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3, 4), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), CDIO (пп. 4.7, 4.8, 3.1)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Юрьев Е.М.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2Д7В	Торчаковой Ольге Михайловне

Тема работы:

Исследование целесообразности использования биодизельных топлив в качестве смесового компонента товарных дизельных топлив	
Утверждена приказом директора ИШПР (дата, номер)	от 02.02.2021 г. № 33-23/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2021 г.
------------------------------------------	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Образец прямогонного дизельного топлива, различные виды растительных масел (подсолнечное, кукурузное, рапсовое), этиловый спирт, гидроксид натрия.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Литературный обзор 1.1 Биодизельное топливо 1.2 Дизельное топливо 1.3 Анализ вовлечения биодизельного топлива в качестве смесового компонента для получения товарных дизельных топлив 2 Объект и методы исследования 2.1 Объект исследования 2.2 Методика синтеза биодизельного топлива 2.3 Методы исследования состава и свойств дизельного топлива, биодизельного топлива и их смесей 3 Расчеты и аналитика 3.1 Результаты определения состава и свойств дизельного топлива

	3.2 Результаты определения свойств биодизельного топлива 3.3 Результаты определения состава и свойств смесей биодизельного и дизельного топлив 4 Результаты исследования 4.1 Анализ влияния содержания биодизельного топлива в смеси на физико-химические свойства 4.2 Анализ влияния содержания биодизельного топлива в смеси на состав и цетановый индекс 4.3 Анализ влияния содержания биодизельного топлива в смеси на низкотемпературные свойства 4.4 Рекомендации по использованию биодизельных топлив в качестве смесового компонента товарных дизельных топлив 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6 Социальная ответственность
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Перечень графического материала	Нет
----------------------------------------	-----

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	к.э.н., доцент ОСГН ШБИП Спицына Л.Ю.
«Социальная ответственность»	старший преподаватель ООД ШБИП Гуляев М.В.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Нет

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25.01.2021 г.
-------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ	Киргина М.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Торчакова Ольга Михайловна		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии
 Период выполнения весенний семестр 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2021 г.
------------------------------------------	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2021 г.	Введение	10
15.03.2021 г.	Литературный обзор: биодизельное топливо (состав и свойства биодизельного топлива, характеристика сырья для получения биодизельного топлива, технологии производства биодизельного топлива, катализ в производстве биодизельного топлива); дизельное топливо (состав и свойства); анализ вовлечения биодизельного топлива в качестве смесового компонента для получения товарных дизельных топлив (анализ физико-химических и низкотемпературных свойств, анализ работы дизельного двигателя).	15
01.04.2021 г.	Объект и методы исследования: объект исследования; методика синтеза биодизельного топлива (лабораторная установка, параметры синтеза, подготовка катализатора, проведение синтеза, разделение продуктов синтеза); методы исследования состава и свой дизельного топлива, биодизельного топлива и их смесей (плотности и вязкости, содержания серы, фракционного состава, цетанового индекса, температур помутнения и застывания, предельной температуры фильтруемости).	15
15.04.2021 г.	Расчеты и аналитика: результаты определения состава и свойств дизельного топлива; результаты определения свойств биодизельного топлива; результаты определения состава и свойств смесей биодизельного и дизельного топлив.	20
01.05.2021 г.	Результаты проведенного исследования: анализ влияния биодизельного топлива в смеси на физико-химические свойства, на состав и цетановый индекс, на низкотемпературные свойства; рекомендации по	20

	использованию биодизельных топлив в качестве смесового компонента товарных дизельных топлив.	
20.05.2021 г.	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». Раздел «Социальная ответственность».	10
01.06.2020 г.	Выводы	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Киргина М.В.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Юрьев Е.М.	к.т.н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Д7В	Торчаковой Ольге Михайловне

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	ОХИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – не более 1 048 301,6 руб., в т. ч. затраты по оплате труда – не более 122 338,8 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 4,7 баллов из 5
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды – 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Определение потенциальных потребителей результатов исследования. Составление матрицы SWOT-анализа.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Расчет материальных затрат научно-исследовательской работы. Расчет затрат на специальное оборудование и амортизационных отчислений. Расчет основной и дополнительной заработной платы исполнителей, также отчисления во внебюджетные страховые фонды. Расчет накладных расходов.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет показателей эффективности разработки (интегрального финансового показателя, интегрального показателя ресурсоэффективности, интегрального показателя эффективности)

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
------------------------------------------------------	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Торчакова Ольга Михайловна		

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Д7В	Торчаковой Ольге Михайловне

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 «Химическая технология»

Тема ВКР:

Исследование целесообразности использования биодизельных топлив в качестве смесового компонента товарных дизельных топлив	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объектом исследования является нефтяное дизельное топливо, биодизельное топливо, смеси биодизельное/дизельное топливо.</p> <p>Область применения: оценка целесообразности использования биодизельных топлив в качестве смесового компонента товарных дизельных топлив, выявление оптимального соотношения дизельное/биодизельное топливо.</p> <p>Рабочая зона – химическая 134 лаборатория 2 корпуса отделения химической инженерии Томского политехнического университета.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<p>Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства.</p> <p>Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>
2. Производственная безопасность:	<p>Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды.</p> <p>Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – присутствие вредных веществ; – повышенный уровень шума; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – неудовлетворительный микроклимат; – наличие взрывоопасных и токсичных веществ; – поражение электрическим током. <p>Выводы на соответствие допустимым условиям труда согласно специальной оценке условий труда.</p>
3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> – Анализ воздействия объекта на атмосферу, гидросферу и литосферу. – Решение по обеспечению экологической безопасности.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения. – Выбор наиболее типичной ЧС. – Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС. – Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. – Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)
--------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
-------------------------------------------------------------	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Торчакова Ольга Михайловна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 109 страниц, 25 рисунков, 38 таблиц, 65 источника, 1 Приложение.

Ключевые слова: биодизельное топливо, дизельное топливо, низкотемпературные свойства, смесь, марки топлива.

Работа представлена введением, 6 разделами и выводами, приведен список использованных источников.

Объект исследования – нефтяное дизельное топливо, биодизельное топливо, синтезированное из различных растительных масел, а также смеси биодизельного и дизельного топлив. Предмет исследования – состав и свойства нефтяного дизельного топлива, биодизельных топлив, а также их смесей.

Цель работы – исследование целесообразности использования биодизельных топлив в качестве смесового компонента товарных дизельных топлив.

В процессе исследования реакцией переэтерификации синтезировано биодизельное топливо из различных растительных масел; определены состав и свойства синтезированных биодизельных топлив и нефтяного дизельного топлива; приготовлены смеси биодизельное топливо/нефтяное дизельное топливо; определены состав и свойства приготовленных смесей; выявлены закономерности влияния содержания биодизельного топлива в смеси на состав и свойства топлива; выработаны рекомендации по использованию биодизельных топлив в качестве смесового компонента товарных дизельных топлив.

Экономическая эффективность/значимость работы: выявленные закономерности и выработанные рекомендации позволят производить смесовые топлива, соответствующие требованиям стандартов, с вовлечением в переработку различного растительного сырья. Использование биодизельного топлива в качестве смесового компонента позволит расширить сырьевой пул для производства дизельных топлив с улучшенными экологическими характеристиками.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	16
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	19
1.1 Биодизельное топливо	19
1.1.1 Состав и свойства биодизельного топлива.....	19
1.1.2 Характеристика сырья для получения биодизельного топлива	22
1.1.3 Технологии производства биодизельного топлива	23
1.1.4 Катализ в производстве биодизельного топлива	26
1.2 Дизельное топливо	29
1.2.1 Состав дизельного топлива	29
1.2.2 Свойства дизельного топлива	30
1.3 Анализ вовлечения биодизельного топлива в качестве смесового компонента для получения товарных дизельных топлив	34
1.3.1 Анализ физико-химических свойств при вовлечении биодизельного топлива в качестве смесового компонента для получения товарных дизельных топлив	35
1.3.2 Анализ низкотемпературных свойств при вовлечении биодизельного топлива в качестве смесового компонента для получения товарных дизельных топлив	37
1.3.3 Анализ работы дизельного двигателя при вовлечении биодизельного топлива в качестве смесового компонента для получения товарных дизельных топлив	38
2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	42
2.1 Объект исследования	42
2.2 Методика синтеза биодизельного топлива.....	42
2.2.1 Лабораторная установка для синтеза биодизельного топлива.....	42
2.2.2 Параметры синтеза биодизельного топлива	43
2.2.3 Подготовка катализатора для синтеза биодизельного топлива	43
2.2.4 Проведение синтеза биодизельного топлива	44
2.2.5 Разделение продуктов синтеза биодизельного топлива.....	44

2.3 Методы исследования состава и свойств дизельного топлива, биодизельного топлива и их смесей	44
2.3.1 Методика определения плотности и вязкости	44
2.3.2 Методика определения содержания серы.....	46
2.3.3 Методика определения фракционного состава.....	47
2.3.4 Методика определения цетанового индекса	47
2.3.5 Методика определения температур помутнения и застывания	48
2.3.6 Методика определения предельной температуры фильтруемости	49
3 РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА	50
3.1 Результаты определения состава и свойств дизельного топлива.....	50
3.2 Результаты определения свойств биодизельного топлива	51
3.3 Результаты определения состава и свойств смесей биодизельного и дизельного топлив.....	52
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	57
4.1 Анализ влияния содержания биодизельного топлива в смеси на физико-химические свойства.....	57
4.2 Анализ влияния содержания биодизельного топлива в смеси на состав и цетановый индекс	58
4.3 Анализ влияния содержания биодизельного топлива в смеси на низкотемпературные свойства.....	60
4.4 Рекомендации по использованию биодизельных топлив в качестве смесового компонента товарных дизельных топлив	63
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	64
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	64
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	64
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений	65
5.1.3 SWOT-анализ.....	66
5.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	68

5.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	69
5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	69
5.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ	70
5.3.3 Разработка графика проведения исследования.....	71
5.4 Бюджет научно-исследовательской работы	72
5.4.1 Расчет материальных затрат научно-исследовательской работы	73
5.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ	74
5.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	75
5.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	76
5.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	77
5.4.6 Накладные расходы.....	77
5.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательской работы	78
5.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	78
5.6 Выводы по разделу.....	81
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	82
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	82
6.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	82
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	83
6.2 Производственная безопасность.....	84
6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования.....	84
6.2.2 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов.....	89
6.3 Экологическая безопасность.....	90
6.3.1 Воздействие на атмосферу	90
6.3.2 Воздействие на гидросферу	90
6.3.3 Воздействие на литосферу	91

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	91
6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	91
6.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	92
6.5 Выводы по разделу.....	93
ВЫВОДЫ	94
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА.....	97
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	100
Приложение А	108

ВВЕДЕНИЕ

Сжигание ископаемого топлива является причиной выброса парниковых газов, которые негативно влияют на атмосферу. Изменение климата является важной проблемой современного мира, так как влечет за собой частичную или полную потерю экосистем и видов. Курс многих стран направлен на снижение выбросов парниковых газов [1]. Одним из инструментов для достижения данной цели является использование альтернативных источников энергии, к которым относятся жидкие биотоплива для моторных двигателей.

Производство жидкого биотоплива, с основным биоэтанола и биодизеля, за последние десятилетия резко возросло (в 2020 году мировые объемы производства биоэтанола составили порядка 1700 тыс. баррелей в день, биодизельного топлива – порядка 2700 тыс. баррелей в день) и согласно прогнозам экспертов, будет только расти [2]. Биодизельное топливо (биодизель) является альтернативой нефтяному дизельному топливу и может использоваться в дизельных двигателях.

Большая часть территории Российской Федерации располагается в холодных климатических поясах, поэтому обеспечение автопарка низкотемпературными моторными топливами является актуальной задачей. Использование биодизельного топлива в чистом виде требует внесения изменений в конструкцию дизельного двигателя, и, как правило, данное топливо характеризуется неудовлетворительными низкотемпературными свойствами [3]. Совокупность данных параметров позволяет использовать биодизель только в качестве смесового компонента, но даже добавление небольшого количества биодизеля положительно сказывается на экологических свойствах топлива.

Таким образом, **целью** данной работы является исследование целесообразности использования биодизельных топлив в качестве смесового компонента товарных дизельных топлив.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1) Синтезировать биодизельное топливо из различных растительных масел (подсолнечного, кукурузного и рапсового) реакцией переэтерификации;

- 2) Определить свойства синтезированных биодизельных топлив;
- 3) Определить состав и свойства нефтяного дизельного топлива;
- 4) Приготовить смеси биодизельное топливо/нефтяное дизельное топливо с различной концентрацией биодизельного топлива в смеси; определить состав и свойства приготовленных смесей;
- 5) Выявить закономерности влияния содержания биодизельного топлива в смеси на состав и свойства топлива;
- 6) Выработать рекомендации по использованию биодизельных топлив в качестве смесового компонента товарных дизельных топлив.

Объектом исследования в данной работе являются нефтяное дизельное топливо, биодизельное топливо, синтезированное из различных растительных масел, а также смеси биодизельного и дизельного топлив.

Предметом исследования являются состав и свойства нефтяного дизельного топлива, биодизельных топлив, а также их смесей.

Научная новизна работы:

- 1) Показано, что добавление биодизельного топлива приводит к увеличению плотности, вязкости и цетанового индекса, снижению содержания серы и утяжелению фракционного состава топлива. С увеличением концентрации биодизельного топлива в смеси эффект усиливается.
- 2) Установлено, что добавление биодизельного топлива практически не влияет на температуру помутнения и температуру застывания топлива, причем эффект не зависит от содержания биодизельного топлива в смеси.
- 3) Показано, что добавление биодизеля приводит к улучшению (снижению) предельной температуры фильтруемости топлива. Для биодизельного топлива, полученного из различных масел, максимальный эффект достигается при различных концентрациях: для биодизельного топлива, полученного из подсолнечного масла, максимальный эффект наблюдается при добавлении 10 % об. (снижение на 8 °С), для биодизельных топлив, полученных из кукурузного и рапсового масел – при добавлении 15 % об. (снижение на 10 °С и 7 °С соответственно).

Практическая значимость работы:

1) Установлено, что смешение рассмотренного образца нефтяного дизельного топлива с биодизелем является перспективным для снижения содержания серы и повышения самовоспламеняемости.

2) Для производства летнего товарного дизельного топлива рекомендуется использовать смеси 10 % об. биодизеля, полученного из любого из растительных масел и 90 % об. нефтяного дизельного топлива.

3) Установлено, что использование биодизельного топлива в качестве смесового компонента товарных дизельных топлив является целесообразным.

Выявленные закономерности и выработанные рекомендации позволят производить смесовые топлива, соответствующие требованиям стандартов, с вовлечением в переработку различного растительного сырья. Использование биодизельного топлива в качестве смесового компонента позволит расширить сырьевой пул для производства дизельных топлив с улучшенными экологическими характеристиками.

Апробация работы:

Основные положения работы были представлены на XXI и XXII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология» имени выдающихся химиков Л.П. Кулева и Н.М. Кижнера (получен Диплом III степени, 2020 г.); на XXV Международной научном симпозиуме студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр»; на II Международной научно-практической конференции «Модернизация и инновационное развитие топливно-энергетического комплекса».

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Биодизельное топливо

1.1.1 Состав и свойства биодизельного топлива

Биодизельное топливо (БиоДТ), или биодизель – это один из видов возобновляемых источников энергии, который является альтернативой нефтяному дизельному топливу (ДТ) и может использоваться в дизельных двигателях внутреннего сгорания.

БиоДТ представляет собой жидкое топливо, состоящее из метиловых или этиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК / ЭЭЖК), полученных в результате переэтерификации растительных масел, животных жиров, а также липидов микроводорослей [4, 5].

Основу растительных масел и животных жиров составляют триглицериды (ТГ) (также их называют жиры или триацилглицерины) – это органические вещества, являющиеся продуктами этерификации карбоновых кислот и трехатомного спирта глицерина [6]. На рисунке 1.1 показана общая схема синтеза триглицерида, где R – это алкильный остаток жирной кислоты.

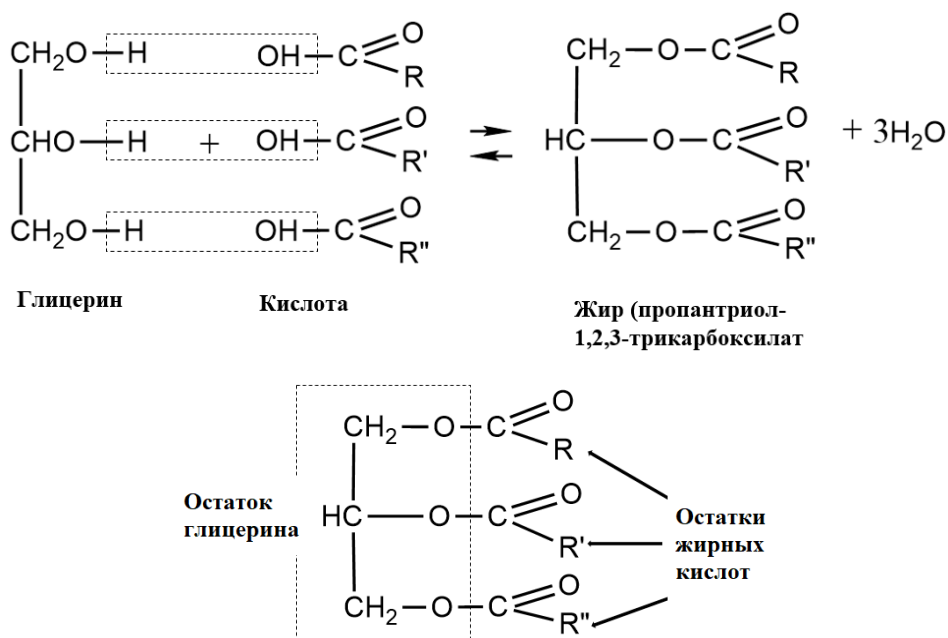


Рисунок 1.1 – Синтез триглицерида [7]

Остатки жирных кислот в структуре триглицерида могут быть неодинаковыми (например, рисунок 1.2). Они могут быть насыщенными и

ненасыщенными. В таблице 1.1 представлены наиболее типичные кислоты, входящие в состав триглицеридов.

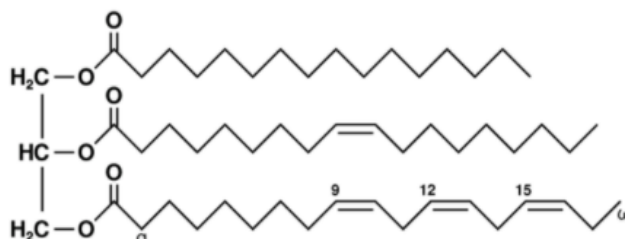


Рисунок 1.2 – Триглицерид с остатками пальмитиновой, олеиновой и альфа-линолевой кислот

Таблица 1.1 – Типичные кислоты, входящие в состав масел и жиров [7]

Название кислоты	Молекулярная формула	Структурная формула
Насыщенные кислоты		
Пальмитиновая	$C_{15}H_{31}COOH$	$ \begin{array}{cccccccccccccccc} & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & O \\ & & & & & & & & \\ H_3C - & C - & C - & C - & C - & C - & C - & C - & C - OH \\ & & & & & & & & \\ & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & \end{array} $
Стеариновая	$C_{17}H_{35}COOH$	$ \begin{array}{cccccccccccccccc} & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & O \\ & & & & & & & & \\ H_3C - & C - & C - & C - & C - & C - & C - & C - & C - OH \\ & & & & & & & & \\ & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & \end{array} $
Ненасыщенные кислоты		
Олеиновая (1 двойная связь)	$C_{17}H_{33}COOH$	$ \begin{array}{cccccccccccccccc} & H_2 & H_2 & H_2 & H & H & H_2 & H_2 & H_2 & O \\ & & & & & & & & & \\ H_3C - & C - & C - & C - & C = C - & C - & C - & C - & C - OH \\ & & & & & & & & \\ & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & \end{array} $
Линолевая (2 двойные связи)	$C_{17}H_{31}COOH$	$ \begin{array}{cccccccccccccccc} & H_2 & H_2 & H & H & H & H_2 & H_2 & H_2 & O \\ & & & & & & & & & \\ H_3C - & C - & C - & C = C - & C = C - & C - & C - & C - & C - OH \\ & & & & & & & & \\ & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & \end{array} $
Линоленовая (3 двойные связи)	$C_{17}H_{29}COOH$	$ \begin{array}{cccccccccccccccc} & H & H & H & H & H & H_2 & H_2 & H_2 & O \\ & & & & & & & & & \\ H_3C - & C = C - & C = C - & C = C - & C - & C - & C - & C - & C - OH \\ & & & & & & & & \\ & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & H_2 & \end{array} $

Таким образом, свойства БиоДТ будут определяться длиной цепи жирной кислоты и наличием двойных связей в составе.

Свойства БиоДТ во многом схожи со свойствами нефтяного ДТ, но у БиоДТ имеется ряд преимуществ. Прежде всего БиоДТ является возобновляемым топливом, что особо актуально при современном уровне потребления ископаемого сырья.

Экологическая обстановка в мире требует снижения выбросов парниковых газов в атмосферу, а использование БиоДТ в качестве топлива значительно сокращает эти выбросы. Исследования показывают, что выбросы

парниковых газов для 100 %-го БиодТ на 74 % ниже, чем для нефтяного ДТ. Это связано с тем, что в качестве сырья для синтеза БиодТ выступают растения или животные жиры, которые в течении своего жизненного цикла поглощали CO_2 из воздуха. При сжигании БиодТ CO_2 возвращается в атмосферу, и для выращивания последующего сырья будет использоваться этот же газ.

БиодТ можно отнести к экологически чистому источнику энергии, так как БиодТ не содержит в своем составе ароматических соединений, которые негативно влияют на живые организмы. При попадании в почву или сточные воды БиодТ полностью разлагается микроорганизмами. В почве или в воде БиодТ перерабатывается на 99 % приблизительно за 20 дней [8].

БиодТ характеризуется хорошей смазывающей способностью, но при этом практически не содержит серы и сернистых соединений. Смазывающая способность топлива необходима для предотвращения преждевременного износа деталей двигателя.

БиодТ имеет высокую температуру воспламенения (не менее 120 °С), это делает его безопасным для использования и хранения. Важным показателем для ДТ является цетановое число, и для БиодТ оно превышает 51 пункт, то есть топливо может использоваться без введения дополнительных иницирующих добавок.

Но также БиодТ имеет и недостатки, к которым можно отнести не высокую химическую стабильность, в связи с чем срок хранения БиодТ не превышает 3-4 месяца. Кроме того, БиодТ характеризуется не очень хорошими низкотемпературными характеристиками.

Таким образом, БиодТ во многом схоже с нефтяным ДТ, и может использоваться в качестве моторного топлива для дизельных двигателей. Однако, молекулы, входящие в состав БиодТ, имеют совершенно иную структуру нежели молекулы нефтяного ДТ, и свойства БиодТ будут зависеть от исходного сырья. Для разных регионов характерно распространение различных посевных культур, которые могут выступить сырьем для производства БиодТ, в связи с чем необходимо проводить анализ свойств БиодТ, синтезированных из

различного сырья, для оценки возможности использования биотоплива в том или ином климатическом поясе.

1.1.2 Характеристика сырья для получения биодизельного топлива

БиодТ может производиться из различного сырья и в зависимости от вида сырья может классифицироваться на БиодТ 1-го, 2-го и 3-го поколений [4].

БиодТ 1-го поколения производится из сырья растительного происхождения – сельскохозяйственных культур (соя, кукуруза, рапс, подсолнечник, рыжик, пшеница), также из непищевых культур (хлопок, ятрофа, семена табака, масленичная пальма). Из данных культур получают растительные масла, которые служат сырьем для производства БиодТ.

В качестве сырья для БиодТ 2-го поколения могут выступать отходы различных отраслей промышленности, например, пищевой и деревообрабатывающей. Большое количество отработанных растительных масел и животных жиров от пищевой промышленности могут стать потенциальным сырьем в получении БиодТ, но предварительная очистка отработанного масла создает определенные трудности в использовании такого сырья.

Для производства БиодТ 3-го поколения используются липиды микроводорослей. Культивирование микроводорослей при оптимальных условиях может быть высоким, и урожайность по массе и маслу может превышать урожайность наземных растений в десятки раз [9].

Несмотря на огромное разнообразие сырья для производства БиодТ, в настоящее время производство БиодТ осуществляется с использованием сырья 1-го поколения, данная технология считается традиционной.

В таблице 1.2 представлены свойства некоторых растительных масел.

Чистые растительные масла не соответствуют требованиям, предъявляемым к качеству ДТ из нефтяного сырья, поэтому растительные масла необходимо подвергать химической переработке.

Таблица 1.2 – Свойства растительных масел [10]

Масло	Плотность при 15 °С, кг/м ³	Тепловая способность, МДЖ/кг	Вязкость при 20 °С, мм ² /с	Цетановое число	Температура загустения, °С	Температура воспламенения, °С	Йодное число
Рапсовое	920	37,6	72,3	40	0...-3	317	94-113
Подсолнечное	930	37,1	68,9	36	-16...-18	316	114-118
Кукурузное	930	37,1	65,5	38	-8...-12	340	–
Соевое	930	37,1	63,5	39	-8...-18	350	114-138
Льняное	930	37,0	51,0	52	-18...-27	–	169-192
Оливковое	920	37,8	83,8	37	-5...-9	–	76-90
Хлопковое	930	36,8	89,4	41	-6...-14	320	90-117
Пальмовое	920	37,0	29,4	42	+27...+43	267	34-61

1.1.3 Технологии производства биодизельного топлива

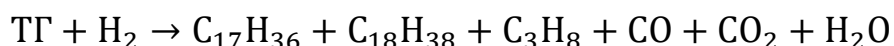
Несмотря на то, что под БиодТ обычно имеют в виду продукт переэтерификации растительных масел или животных жиров, к БиодТ можно также отнести любые биотоплива, произведенные из возобновляемого сырья. Получение БиодТ можно осуществлять в результате таких процессов, как пиролиз, микроэмульгирование, гидродеоксигенация, деоксигенация и переэтерификация [11].

Процесс пиролиза представляет собой разрыв химических связей при высокой температуре. Триглицеридная структура распадается до алканов, алкенов и жирных кислот. Для получения БиодТ осуществляется каталитический пиролиз масел и жиров. Но недостатком пиролиза является то, что в результате данного процесса происходит уменьшение числа атомов углерода, что снижает энергоэффективность целевого продукта за счет формирования более легких углеводородов.

Процесс микроэмульгирования представляет собой смешение воды, масла и поверхностно-активного вещества (ПАВ), в результате которого образуется термодинамически стабильный коллоидный раствор. Образованный таким образом раствор может использоваться в качестве БиодТ, так как по свойствам микроэмульсии близки к свойствам ДТ. Но недостатком такого

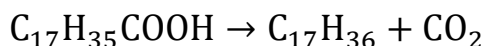
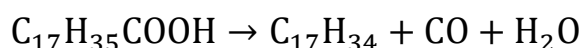
способа получения БиоДТ является отложение сажи на деталях двигателя при сжигании топлива.

В процессе гидродеоксигенации происходит каталитическое гидрирование триглицеридов в соответствующие алканы, глицериновый фрагмент триглицерида гидрируется до пропана, карбонильная группа выделяется в виде угарного и углекислого газа и воды. Например, реакция гидрирования триглицерида может иметь следующий вид [12]:



Процесс схож с гидроочисткой ДТ и может легко реализоваться в промышленности.

Альтернативой процессу гидродеоксигенации служит процесс деоксигенации (декарбонилирования / декарбоксилирования) жирных кислот, получаемых в процессе гидрирования триглицеридов. На первой стадии происходит гидрирование триглицеридов до соответствующих жирных кислот с их последующей деоксигенацией. Расход водорода гораздо меньше, чем при гидродеоксигенации, кроме того, происходит сохранение молекулы глицерина, что выгоднее, чем гидрирование глицериновой группы до пропана, который относительно невысок по стоимости. Например, деоксигенация жирных кислот может происходить по следующим реакциям [12]:



Процессы гидродеоксигенации и деоксигенации позволяют получать БиоДТ 2-го поколения из сырья непищевого назначения. Но развитие биодизельного производства начиналось с использования сырья 1-го поколения (растительных масел и животных жиров), поэтому в промышленности наиболее распространен процесс переэтерификации растительных масел, животных жиров или липидов микроводорослей, в результате данного процесса липидная фракция (триглицериды) подвергается химической переработке. Реакцию переэтерификации также называют реакцией алкоголиза, так как происходит

взаимодействие триглицеридов жирных кислот со спиртом, в результате которого образуются также сложные эфиры, но иного строения, и глицерин.

На рисунке 1.3 представлена схема протекания процесса переэтерификации. Как видно из рисунка, из триглицеридов жирных кислот образуются сложные эфиры этих кислот.

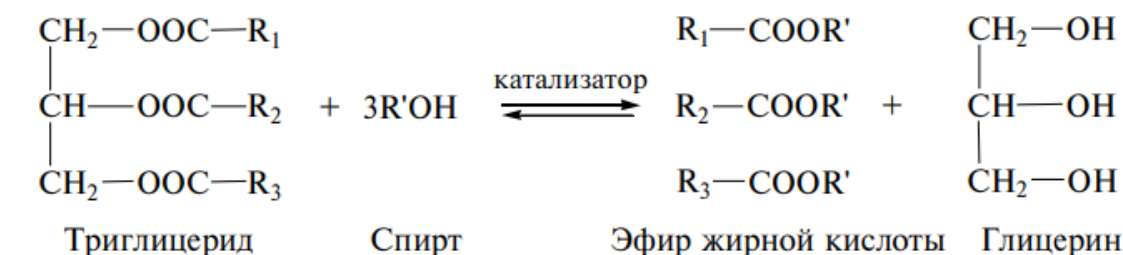


Рисунок 1.3 – Получение сложных эфиров жирных кислот (БиоДТ) [13]:

$\text{R}_1, \text{R}_2, \text{R}_3$ – алкильный остаток жирной кислоты; R' – алкильный остаток спирта

Реакция протекает при наличии катализатора, в качестве которого могут выступать гидроксид натрия или калия, а также сильные кислоты. Более подробно использование катализаторов в реакции переэтерификации рассмотрено в п. 1.1.4.

Реакция протекает в три стадии – распад триглицеридов с образованием диацилглицеридов, затем моноацилглицеридов, и с расщеплением последних с образованием сложных эфиров жирных кислот и глицерина (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Частная переэтерификация [13]

На рисунке 1.5 представлена реакция образования алкоголятов на примере использования метилового спирта и гидроксида натрия. Образовавшийся нуклеофильный агент атакует карбонильную группу триглицерида с образованием на первой стадии диглицерида и сложного эфира жирной кислоты (рисунок 1.6).

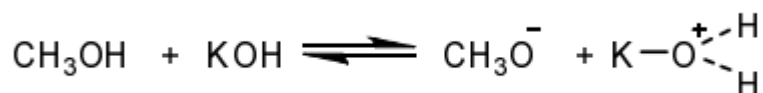
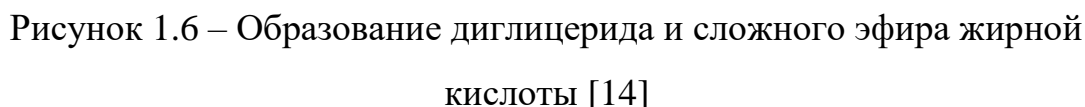


Рисунок 1.5 – Образование нуклеофильного агента [14]



Таким образом, анализ технологий БиодТ показал, что производство БиодТ может осуществляться различными способами, каждая технология имеет свои достоинства и недостатки.

Перезэтерификация растительных масел – наиболее распространенный процесс для получения БиодТ. Технологии производства БиодТ можно классифицировать в соответствии со способом катализа реакции перезэтерификации (рисунок 1.7).

Гомогенные щелочные и кислотные катализаторы представляют собой традиционные технологии получения БиодТ. Использование гетерогенных катализаторов представляет собой наиболее сложную технологию. Учеными уже разработаны гетерогенные катализаторы на неорганических носителях: на оксидах различных металлов, например, на оксиде циркония или титана, тогда

катализатор будет иметь следующую общую формулу: $\text{MO}_{(2-x/2)}(\text{OH})_x$ (М – Zr или Ti, x – 1-4) [14].



Рисунок 1.7 – Классификация технологий производства БиоДТ из растительных масел

Для проведения переэтерификации в мягких условиях, может использоваться гетерогенный катализатор на оксиде алюминия, содержащий соль щелочных металлов (K_2CO_3 , KF, LiNO_3).

Ведутся разработки новых катализаторов на основе гидроксиметилпиранов. Данные катализаторы представляют собой металлоорганические соединения, например: олово(3-гидрокси-2-метил-4-пирон) $_2(\text{H}_2\text{O})_2$, свинец(3-гидрокси-2-метил-4-пирон) $_2(\text{H}_2\text{O})_2$, ртуть(3-гидрокси-2-метил-4-пирон) $_2(\text{H}_2\text{O})_2$, цинк(3-гидрокси-2-метил-4-пирон) $_2(\text{H}_2\text{O})_2$ [14].

Ввиду дешевизны, популярным остается использование гомогенных щелочных катализаторов, использование которых усложняет технологический процесс отделения катализатора от смеси. Внедрение гетерогенных катализаторов может устранить данную проблему, их можно использовать как в суспендированном виде, так и в виде неподвижного слоя в стационарном состоянии. Гетерогенные катализаторы могут быть легко отделены и повторно использованы, что упрощает технологию очистки БиоДТ.

Ферментные катализаторы составляют группу биологических катализаторов. Универсальным биокатализатором является липаза (триацилглицеролацилгидролаза) – это фермент, который расщепляет сложные жиры (триглицериды). В благоприятных условиях он способен катализировать синтетические реакции, такие как этерификация, переэтерификация [15].

Иммобилизация фермента может быть осуществлена различными механизмами на различных носителях, например, физическая адсорбция ферментов на диоксиде кремния и нерастворимых полимерах, адсорбция на ионообменных смолах, ковалентное взаимодействие ферментов с материалом твердых подложек (неорганические или полимерные эпоксидные подложки), захват ферментов в растущем полимере, локализация ферментов в мембранном реакторе или в полупроницаемом геле [16]. Относительно дешевыми и самыми распространенными являются силикагель, диатомит и каолинит [17]. Ключевой недостаток ферментативного катализа – высокая стоимость.

Существуют комбинированные и некаталитические способы производства БиодТ. К комбинированной технологии относится использование со-растворителей, которые повышают взаимную растворимость несмешивающихся фаз спирта и масла. Например, к таким растворителям можно отнести тетрагидрофуран, гексан, диэтиловый эфир и др. [18]. Но разделение целевого продукта – БиодТ и растворителя является сложным процессом. Также для интенсификации взаимодействия масла со спиртом, смесь можно подвергнуть микроволновому излучению или радиочастотному нагреву, при этом происходит переориентация диполей растворителя.

К некаталитическим способам относится производство БиодТ с использованием ультразвука, в результате чего вблизи несмешивающихся фаз появляются кавитационные пузырьки, разрушение которых приводит к нарушению границ фаз масла и спирта.

Использование спирта, находящего в сверхкритическом состоянии, не требует наличия катализатора. Спирт, смешиваясь с маслом, образует не эмульсию, а раствор, что облегчает их взаимодействие. Но для перевода спирта

в такое состояние необходимы высокие температуры (350-400 °С) и давления (около 80 атм), соотношение спирт: масло – 42: 1, при этом время процесса сокращается до 3-5 минут [18].

Таким образом, получение БиоДТ переэтерификацией растительных масел и жиров может происходить как каталитическим путем, так и без использования катализатора. Традиционная технология включает использование гомогенных катализаторов, данная технология получения БиоДТ является наиболее простой, распространенной и выгодной с экономической точки зрения. Но проблемы, связанные с отмывкой продукта от катализатора, приводят к росту популярности гетерогенных катализаторов, которые легко отделяются и могут быть использованы повторно, или к полному отказу от катализаторов и применению других методов ускорения реакции.

1.2 Дизельное топливо

ДТ представляет собой жидкий нефтепродукт, который используется как топливо для дизельных двигателей. В основном ДТ получают при прямой перегонке нефти, гидроочистке, депарафинизации, а также смешением данных продуктов с легким газойлем каталитического крекинга [19]. На сегодняшний день дизельные двигатели приобретают большую популярность и используются на разных транспортных средствах:

- на легковом и грузовом транспорте;
- на сельскохозяйственной технике;
- на речных и морских судах;
- на тепловозах.

1.2.1 Состав дизельного топлива

Нефть с разных месторождений характеризуется различным составом, от ее происхождения будет зависеть состав ДТ. Для ДТ наиболее характерны следующие классы углеводородов в составе:

- парафиновые углеводороды (10-40 %);
- нафтеновые углеводороды (20-60 %);

- ароматические углеводороды (15-30 %);
- гетероатомные соединения (в небольшом количестве).

Парафиновые углеводороды в составе ДТ могут быть в виде как парафинов нормального строения (н-парафины), так и в виде изопарафинов. Н-парафины характеризуются хорошей самовоспламеняемостью, но в то же время ухудшают низкотемпературные свойства топлива. Изопарафиновые углеводороды, наоборот, имеют хорошие низкотемпературные показатели, но характеризуются плохой самовоспламеняемостью.

Нафтеновые углеводороды (циклоалканы) отличаются хорошими низкотемпературными свойствами, хорошей окислительной и термической стабильностью и по самовоспламенению находятся между н-парафинами и ароматическими углеводородами.

Наличие ароматических углеводородов в составе ДТ нежелательно, так как они имеют плохую воспламеняемость, при сжигании способствуют нагарообразованию и эмиссии полициклических ароматических углеводородов, содержание которых регламентируется согласно [20].

1.2.2 Свойства дизельного топлива

Для бесперебойной работы топливной системы дизельного двигателя топливо должно обладать определенными свойствами, к которым относятся воспламеняемость, испаряемость, плотность, вязкость, фракционный состав, низкотемпературные свойства.

Для применения ДТ необходимо учитывать климатические условия окружающей среды, поэтому согласно [20], ДТ подразделяется на четыре марки:

- Л (летнее): рекомендуется эксплуатировать при температуре окружающего воздуха -5°C и выше;
- Е (межсезонное): рекомендуется эксплуатировать при температуре окружающего воздуха -15°C и выше;
- З (зимнее): рекомендуется эксплуатировать при температуре окружающего воздуха до -25°C (если предельная температуры фильтруемости

не выше -25°C) и до -35°C (если предельная температуры фильтруемости не выше -35°C);

– А (арктическое): рекомендуется эксплуатировать при температуре окружающего воздуха -45°C и выше.

Воспламеняемость ДТ оценивается цетановым числом (ЦЧ). Цетановое число определяет способность ДТ к самовоспламенению при сжатии. Свойства самовоспламенения чистого н-гексадекана (н-цетана) приняты за 100, а свойства α -метилнафталина приняты за 0. Когда ДТ имеет тот же период задержки воспламенения, что и принятая эталонная смесь, то это значение принимается за ЦЧ.

Согласно [21], в зависимости от экологического класса ЦЧ должно находится в пределах от 45 до 51 пунктов, но для любой марки независимо от экологического класса должно соответствовать требованиям, представленным в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Требования, предъявляемые к ЦЧ ДТ [20]

Наименование показателя	Значение для марки			
	Л	Е	З	А
Цетановое число, не менее	45			

Углеводороды, входящие в состав ДТ, влияют на ЦЧ. ЦЧ снижается в следующем ряду:

н-парафины > олефины > нафтены > ароматические углеводороды

ЦЧ не должно быть слишком высоким и слишком низким. Если ЦЧ слишком высокое, то горючая смесь не успевает образовываться, и топливо впрыскивается в уже горящую смесь. Наоборот, при малом ЦЧ горючая смесь подготавливается хорошо, но времени на горение остается меньше, увеличивается давление в камере сгорания, что влечет к стуку, износу двигателя, также к поломкам поршневых колец. Таким образом, ЦЧ должно быть таким, чтобы обеспечить оптимальную продолжительность периода задержки воспламенения.

Экспериментальное определение ЦЧ представляет собой трудоемкий процесс, поэтому применяется еще один показатель – цетановый индекс (ЦИ), который является расчетной характеристикой [22].

Фракционный состав – один из важных показателей качества топлива, так как влияет на полноту сгорания, условия распыления, дымность выхлопа, степень нагарообразования. При высоком содержании легких фракций в составе ДТ увеличивается его испаряемость, тем самым увеличивается давление сгорания, двигатель начинает работать жестче. Но в то же время тяжелые фракции ухудшают условия распыления, и тогда уменьшается скорость образования рабочей смеси, что приводит к задымлению и оседания частиц на стенках цилиндра. Согласно [20], для ДТ фиксируются температуры перегонки 50 и 90 % об. (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Требования, предъявляемые к фракционному составу ДТ [20]

Наименование показателя	Значение для марки			
	Л	Е	З	А
50 % перегоняется при температуре, °С, не выше	280	280	280	255
90 % (по объему) перегоняется при температуре, °С, не выше	360	360	360	360

Физико-химические свойства. Плотность и вязкость ДТ находятся в прямой зависимости друг от друга. Чем ниже данные показатели, тем лучше топливо испаряется и распыляется, что хорошо влияет на смесеобразование. Высокие показатели плотности и вязкости могут вызвать рост диаметра капель в топливовоздушной смеси, что препятствуют полному сгоранию ДТ. Но также нежелательны слишком низкие значения данных показателей, так как это влечет к увеличению текучести топлива, что вызывает его просачиваемость между движущимися элементами двигателя и тот факт, что не обеспечивается необходимое внутреннее давление для перекачки. Плотность и вязкость зависят от температуры окружающей среды, с понижением температуры подвижность снижается, поэтому топливо зимних марок должно обладать более низкими значениями данных показателей (таблица 1.5).

Таблица 1.5 – Требования, предъявляемые к плотности и вязкости ДТ [20]

Наименование показателя	Значение для марки			
	Л	Е	З	А
Плотность при 15 °С, кг/м ³ , не более	863,4	863,4	843,4	833,5
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	3,0-6,0	3,0-6,0	1,8-5,0	1,5-4,0

Низкотемпературные свойства оцениваются показателями температуры помутнения ($T_{\text{П}}$), предельной температуры фильтруемости (ПТФ) и температуры застывания (T_3). Низкотемпературные характеристики определяют возможность использования топлива в разных климатических зонах. Из-за повышенного содержания н-парафинов в ДТ при низкой температуре происходит образование микрочастиц, это явление можно наблюдать наглядно, и появление первой мути свидетельствует о том, что достигнута та температура, при которой парафины начинают кристаллизоваться, это и будет $T_{\text{П}}$.

$T_{\text{П}}$ не влияет на прокачиваемость топлив по трубопроводам, но влияет на прокачиваемость через фильтрующую систему. Выделившиеся кристаллы забивают фильтр, и топливо перестает прокачиваться. Температура, при которой ДТ перестало фильтроваться фиксируется как ПТФ.

Под T_3 понимается такая температура, при которой топливо теряет свою подвижность. Выделившиеся кристаллы парафинов начинают образовывать сетчатую каркасную структуру, и топливо застывает, то есть перестает течь.

Нормируемым показателем для ДТ является ПТФ (таблица 1.6).

Таблица 1.6 – Требования, предъявляемые к ПТФ ДТ [20]

Наименование показателя	Значение для марки			
	Л	Е	З	А
ПТФ, °С, не выше	-5	-15	-25...-35	-45

Содержание серы, можно сказать, является двойственным показателем. Оно обуславливает и экологические, и эксплуатационные свойства. С экологической точки зрения, содержание серы и серосодержащих компонентов в топливе нежелательно, так как часть продуктов выбрасывается в атмосферу с отработавшими газами, также происходит образование кислотных соединений, что может вызвать коррозию элементов двигателя. Данный показатель регламентируется и должен соответствовать требованиям, представленным в

таблице 1.7. Но чрезмерное обессеривание топлива приводит к снижению смазывающих свойств топлива, что может стать причиной повышенного износа элементов двигателя, поэтому возникает необходимость использования присадок.

Таблица 1.7 – Требования, предъявляемые к содержанию серы и серосодержащих соединений в ДТ [20]

Наименование показателя	Значение для марки			
	Л	Е	З	А
Массовая доля серы, мг/кг, не более	2000 500			
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,01			
Массовая доля сероводорода	Отсутствие			

1.3 Анализ вовлечения биодизельного топлива в качестве смесового компонента для получения товарных дизельных топлив

Смешение БиоДТ с нефтяным ДТ является наиболее распространенным методом получения товарного моторного топлива, так как при использовании чистых БиоДТ возможно изменение характера рабочих процессов, протекающих в дизельном двигателе, что требует внесения дополнительных модификаций в конструкцию двигателя [23].

Однако, при использовании больших концентраций БиоДТ в качестве смесового компонента наблюдается ухудшение некоторых свойств моторного топлива, поэтому экспериментальное определение и оценка свойств смесового топлива является важным этапом для определения оптимального соотношения БиоДТ/ДТ в смеси.

Смесовое топливо должно соответствовать требованиям современных стандартов для возможности использования в дизельном двигателе. Существует зарубежный стандарт [24], который распространяется на топливные смеси с содержанием БиоДТ от 6 до 20 % об. Исследования многих ученых направлены на поиск оптимального соотношения БиоДТ/ДТ, которое будет соответствовать требованиям стандартов.

1.3.1 Анализ физико-химических свойств при вовлечении биодизельного топлива в качестве смесового компонента для получения товарных дизельных топлив

Одной из стран, где популярностью пользуется биотопливо, является Малайзия. Согласно [25], производство БиоДТ в Малайзии с каждым годом растет. Так, в работе [26], ученые охарактеризовали, как изменяются физико-химические свойства топлива, полученного смешением товарного ДТ с БиоДТ из пальмового масла в различных концентрациях. Для исследования авторами работы были приготовлены смеси с различным содержанием БиоДТ (10, 20, 30, 40 и 50 % об.). БиоДТ из пальмового масла получали с местного завода по производству биотоплива. Плотность чистого БиоДТ составила 880 кг/м^3 , нефтяного ДТ – 847 кг/м^3 . Согласно исследованию, плотность смесового топлива увеличивается с увеличением концентрации БиоДТ в топливной смеси. Авторы отмечают, что смесовое топливо с содержанием до 30 % об. БиоДТ соответствует стандарту [24]. Значения кинематической вязкости смесей находятся в диапазоне от 3,86 до $4,00 \text{ мм}^2/\text{с}$. По параметру кинематической вязкости возможно использование БиоДТ в смеси до 50 % об. Таким образом, сопоставляя значения плотности и вязкости, авторы пришли к выводу, что наиболее оптимальной концентрацией БиоДТ из пальмового масла будет 30 % об., при данной концентрации показатели плотности и вязкости топлива находятся в допустимых пределах.

Авторы работы [27] проводили исследование по влиянию добавления БиоДТ из сафлорового масла на физико-химические свойства топлива. Для этой цели БиоДТ производился в лаборатории из сафлорового масла путем переэтерификации с использованием метанола в качестве переэтерифицирующего агента, и гидроксида натрия – в качестве катализатора. Продуктом реакции выступили метиловые эфиры сафлорового масла (МЭСМ). Для исследования были приготовлены смеси с процентным содержанием БиоДТ от 10 до 90 % об. с шагом 10 % об. Авторы отмечают, что увеличение доли МЭСМ в смеси приводит к увеличению плотности смеси. Оптимальное

количество добавки БиоДТ составляет 20 % об., так как при данной концентрации поддерживается приемлемая плотность смесового топлива. Что касается кинематической вязкости, то также отмечается, что смеси МЭСМ/ДТ с содержанием МЭСМ до 20 % об. соответствуют требованиями [24], значения кинематической вязкости лежат в допустимых границах.

Как уже было сказано ранее, для производства БиоДТ могут использоваться различные виды сырья. Авторами [28] было проведено исследование физико-химических свойств смесей БиоДТ/ДТ, где БиоДТ синтезировалось из различного сырья, а именно из отработанного пищевого масла, куриного и козьего жира, пальмоядрового масла. БиоДТ синтезировался реакцией переэтерификации. Авторы отмечают, что кинематическая вязкость нефтяного ДТ составляет $2,5 \text{ мм}^2/\text{с}$, что является сравнительно низким показателем для ДТ, поэтому в данном исследовании цель состояла в получении смесового топлива, как целевого продукта, с более высокой вязкостью, и БиоДТ выступало в качестве добавки для повышения вязкости. Вязкость БиоДТ из отработанного растительного масла, куриного жира, пальмоядрового масла и козьего жира составляет 4,5; 5,0; 5,7 и $5,5 \text{ мм}^2/\text{с}$ соответственно.

Для исследования физико-химических свойств смесового топлива полученные образцы БиоДТ из различного сырья смешивались в различном соотношении (10, 20, 50, 60, 80 % об.) с ДТ. Результаты исследования показывают общую тенденцию, сводящуюся к увеличению кинематической вязкости с увеличением процентного содержания БиоДТ в смеси. Авторы отмечают, что БиоДТ из пальмоядрового масла имеет более высокие значения вязкости, по сравнению с остальными, поэтому оно будет предпочтительнее в качестве смесового компонента. Наиболее низким значением вязкости обладают смеси с добавлением отработанного растительного масла, то есть данное БиоДТ предпочтительно для смешения с более высоковязким ДТ.

Также авторами была определена плотность чистых БиоДТ, которая составила 872, 886, 879 и 890 кг/м^3 для отработанного пищевого масла, куриного жира, пальмоядрового масла и козьего жира соответственно. Исследование

влияния добавления БиоДТ на плотность показало, что с увеличением концентрации БиоДТ в смеси, плотность увеличивается. Смеси с добавлением БиоДТ из отработанного масла характеризуются наименьшей плотностью, в то время как смеси с добавлением козьего жира – наибольшей.

Таким образом, авторы пришли к выводу, что все смеси по значениям плотности и кинематической вязкости соответствуют требованиям стандарта [24]. Также можно отметить, что для не высоковязкого ДТ предпочтительной добавкой будет БиоДТ из пальмоядрового масла, а для более вязкого ДТ – БиоДТ, полученное из козьего жира.

1.3.2 Анализ низкотемпературных свойств при вовлечении биодизельного топлива в качестве смесового компонента для получения товарных дизельных топлив

Несмотря на то, что большинство свойств БиоДТ и нефтяного ДТ сравнимы, низкотемпературные свойства сильно различаются. Авторы работы [26] проводили исследование влияния добавления БиоДТ из пальмового масла на низкотемпературные характеристики топлива ($T_{п}$ и $T_{з}$). Используемый образец нефтяного ДТ имел следующие низкотемпературные характеристики: $T_{п} = -8\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $T_{з} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$; синтезированный БиоДТ: $T_{п} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $T_{з} = 14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Как можно заметить из результатов, представленных в данной статье, БиоДТ имеет неудовлетворительные низкотемпературные характеристики и использовать его в чистом виде не представляется возможным. Определение низкотемпературных свойств смесей с вовлечением 10, 20, 30, 40 и 50 % об. БиоДТ показало, что $T_{п}$ и $T_{з}$ смесей повышаются с увеличением содержания БиоДТ в смеси. Вовлечение 30 % об. БиоДТ из пальмового масла повышает $T_{з}$ смеси до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, что является оптимальной температурой для стран с более мягким климатом. Таким образом, авторы допускают содержание БиоДТ в смеси в концентрации 30 % об., данное количество обеспечивает удовлетворительные низкотемпературные характеристики топлива.

Авторами работы [28], проводившими исследования свойств БиоДТ, синтезированного из различного сырья, установлено, что $T_{п}$ чистых БиоДТ,

полученных из отработанного растительного масла, куриного жира, пальмоядрового масла и козьего жира составляли 6, 3, 15 и 2 °C соответственно, а T_3 : 13, 10, 15 и 8 °C соответственно. Из результатов, полученных исследователями, можно заметить, что все БиоДТ характеризуются неудовлетворительными низкотемпературными свойствами, применение их в чистом виде в холодном климате не представляется возможным, и только смешение в нефтяным ДТ может улучшить данные характеристики. Согласно [24], $T_{п}$ и T_3 не регламентируются. По результатам, полученным авторами, можно сделать вывод, что для Российской Федерации, как страны с более жесткими климатическими условиями, наилучшим смесевым компонентом является БиоДТ, полученное из козьего жира, а наихудшим – БиоДТ из пальмоядрового масла.

1.3.3 Анализ работы дизельного двигателя при вовлечении биодизельного топлива в качестве смесового компонента для получения товарных дизельных топлив

Авторами работы [23] были представлены результаты экспериментального исследования характеристик дизельного двигателя, работающего на нефтяном ДТ и смесевых топливах, состоящих из нефтяного ДТ и БиоДТ. Для оценки целесообразности использования смесевых топлив был использован отечественный дизельный двигатель типа Д-125.12С. В качестве биотоплив использовались БиоДТ, полученные из рапсового и подсолнечного масел путем реакции переэтерификации метанолом в присутствии катализатора – гидроксида калия. Смесевые топлива были приготовлены смешением ДТ (марки летнее «Л») и метиловых эфиров рапсового масла (МЭРМ), а также метиловых эфиров подсолнечного масла (МЭПМ). Для оценки влияния состава смесового топлива на характеристики дизельного двигателя были приготовлены смеси с объемным содержанием БиоДТ в смеси 5, 10, 20, 40 и 60 %.

Определяя характеристики дизельного двигателя, исследователи пришли к выводу, что эффективный коэффициент полезного действия (КПД) двигателя, который используется для оценки топливной экономичности двигателя

внутреннего сгорания, слабо зависит от состава смесей, то есть показатели работы на смесевом топливе очень близки по значению к показателям работы двигателя на чистом нефтяном ДТ. При использовании смесей МЭРМ/ДТ данный показатель находится в пределах 33,7-34,6 %, при использовании МЭПМ/ДТ – в пределах 34,2-34,7 %, в то время как эффективный КПД двигателя при работе на нефтяном ДТ составляет 34 %.

Согласно [29], нормируемыми показателями работы двигателей внутреннего сгорания являются выбросы газообразных токсичных веществ с отработавшими газами (ОГ). Для оценки экологических показателей работы двигателя исследователями были определены такие показатели, как дымность ОГ и удельные массовые выбросы оксидов азота, монооксида углерода и несгоревших углеводородов. Исследования, проведенные авторами, показывают, что перевод дизельного двигателя на смесь 20 % об. БиоДТ и 80 % об. нефтяного ДТ даст возможность заметно улучшить экологические показатели. В случае использования в качестве смесового компонента МЭРМ дымность ОГ на режиме максимальной мощности работы двигателя снижается с 18 до 7 % при увеличении концентрации БиоДТ в смеси от 5 до 60 % об., а при использовании МЭПМ данный показатель снижается с 13 до 6 %. Можно отметить, что МЭПМ характеризуется лучшими экологическими свойствами по дымности ОГ.

Особый интерес у авторов вызвали удельные выбросы токсичных компонентов (оксида азота, монооксида углерода и несгоревших углеводородов). Результаты полученные в ходе исследования показали, что использование МЭРМ в качестве смесового компонента улучшает показатели по выбросам монооксидов углерода (снизились с 2,234 г/(кВт·ч) до 1,932 г/(кВт·ч)) и несгоревших углеводородов (снизились с 0,626 г/(кВт·ч) до 0,681 г/(кВт·ч)), также улучшает показатели по выбросам оксидов азота, но максимально допустимое значение составляет 20 % об. МЭРМ в смеси (снижается с 7,286 г/(кВт·ч) до 6,542 г/(кВт·ч)), дальнейшее увеличение концентрации БиоДТ

в смеси ведет к ухудшению данного показателя (выбросы составляют 7,441 г/(кВт·ч) при использовании 40 % об. МЭРМ).

Аналогичную зависимость авторы наблюдают и при использовании МЭПМ в качестве смесового компонента, но со своей спецификой. Так, вовлечение МЭПМ улучшает показатели по выбросам монооксидов углерода (снизились с 2,782 г/(кВт·ч) до 1,949 г/(кВт·ч)) и несгоревших углеводородов (снизились с 0,924 г/(кВт·ч) до 0,784 г/(кВт·ч)), также улучшает показатели по выбросам оксидов азота, но максимально допустимое вовлечение составляет не 20 % об., как при использовании МЭРМ, а 40 % об. (показатель снижается с 5,905 г/(кВт·ч) до 5,718 г/(кВт·ч)). Дальнейшее увеличение концентрации ведет к ухудшению данного показателя (выбросы составляют 5,742 г/(кВт·ч) при использовании 60 % об. МЭРМ).

Таким образом, оценив характеристики работы дизельного двигателя, работающего на смесовом топливе, можно сделать вывод, что состав смеси практически не влияет на эффективный КПД двигателя, в то же время улучшаются экологические свойства топлива, но максимальное добавление БиодТ в качестве смесового компонента составляет до 20 % об. МЭРМ и до 40 % об. МЭПМ, так как превышение данной концентрации ведет к повышению токсичных выбросов оксидов азота.

Для улучшения физико-механических свойств смесовых биотоплив авторы [30] подвергали смесь воздействию ультразвука. Исследования проводились на дизельном двигателе Д-243. Для проведения эксперимента были выбраны БиодТ, полученные из рапсового и сафлорового масел. Смесовое топливо состояло из 20 % об. БиодТ и 80 % об. нефтяного ДТ. Приготовленные смесовые топлива подвергались воздействию ультразвука, и результаты исследования показали, что эффективная мощность двигателя при работе на смесовом топливе снижается (на 1,5-6,5 % при частоте вращения вала 1400-2200 мин⁻¹), по сравнению с работой двигателя на нефтяном ДТ, но обработка топлива ультразвуком позволяет минимизировать снижение данного показателя (на 0,5-0,8 % при частоте вращения вала 1400-2200 мин⁻¹).

Также в данной работе авторы отмечают, что происходит снижение дымности ОГ при работе двигателя на смесевом топливе, при этом топливо, подвергшееся воздействию ультразвука, снижает показатель на 12,0-18,7 % при частоте вращения вала 1400-2200 мин⁻¹.

Таким образом, исследования различных авторов показывают, что работа дизельного двигателя на смесевом топливе, состоявшем из 20 % об. БиоДТ и 80 % об. ДТ, позволяет улучшить физико-механические характеристики двигателя, и в тоже время улучшить экологические свойства топлива. Для получения наиболее удовлетворительных результатов смесевое топливо может быть подвергнуто дополнительному воздействию в виде ультразвука, в результате чего показатели станут еще лучше.

Анализ литературных источников показывает, что добавление БиоДТ к нефтяному ДТ, позволяет существенно повысить экологичность данного моторного топлива, однако влияние на большинство регламентируемых эксплуатационных показателей товарного топлива является не столь положительным. Важной задачей является оценка целесообразности использования БиоДТ, полученного из различного сырья, в качестве смесового компонента товарных ДТ, выбор оптимальных соотношений БиоДТ/нефтяное ДТ.

2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Объект исследования

Объектами исследования в работе выступили образец прямогонного ДТ, БиоДТ, синтезированное из различных растительных масел, а также смеси биодизельного и дизельного топлив (БиоДТ/ДТ).

БиоДТ синтезировалось из подсолнечного, кукурузного и рапсового масел. Используемым образцам была присвоена маркировка, представленная в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Маркировки образцов БиоДТ

Маркировка	Расшифровка
ПБиоДТ	БиоДТ, синтезированное из подсолнечного масла
КБиоДТ	БиоДТ, синтезированное из кукурузного масла
РапсБиоДТ	БиоДТ, синтезированное из рапсового масла

С использованием нефтяного ДТ и синтезированных из различных растительных масел БиоДТ были приготовлены смеси в различном соотношении смешиваемых компонентов (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Маркировки смесей БиоДТ/ДТ

Обозначение смеси	Расшифровка
В5	5 % об. БиоДТ и 95 % об. нефтяного ДТ
В10	10 % об. БиоДТ и 90 % об. нефтяного ДТ
В15	15 % об. БиоДТ и 85 % об. нефтяного ДТ
В20	20 % об. БиоДТ и 80 % об. нефтяного ДТ

2.2 Методика синтеза биодизельного топлива

2.2.1 Лабораторная установка для синтеза биодизельного топлива

Синтез БиоДТ проводился на лабораторной установке, представленной на рисунке 2.1. Реактором для синтеза выступил термостойкий стакан 3, который помещался на электрическую плиту 4 и оснащался механической мешалкой 1 и термометром для контроля температуры реакционной смеси 2.

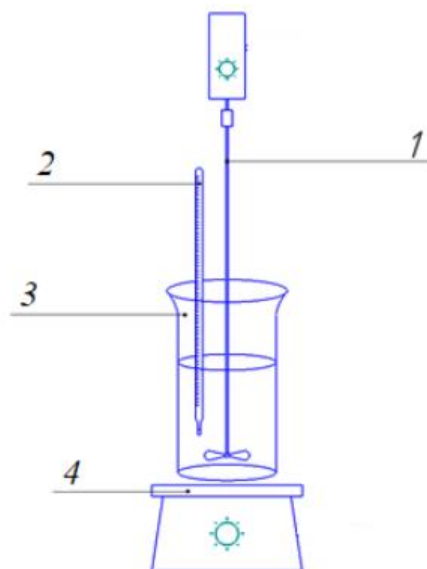


Рисунок 2.1 – Лабораторная установка для проведения реакции
переэтерификации

Для предотвращения улетучивания этилового спирта и взаимодействия реакционной массы с окружающей средой термостойкий стакан со смесью изолировался с помощью металлической фольги.

2.2.2 Параметры синтеза биодизельного топлива

В качестве переэтерифицирующего агента выступил этиловый спирт, в качестве катализатора выступил гидроксид натрия.

Реакция переэтерификации растительных масел осуществлялась при температуре 45 °С; времени синтеза – 1 час; при молярном соотношении масло: спирт – 1: 6 и концентрации катализатора – 1,75 % мас. от массы растительного масла.

2.2.3 Подготовка катализатора для синтеза биодизельного топлива

Спиртовой раствор катализатора готовился предварительно, чтобы довести смесь до гомогенно-жидкого состояния. Рассчитанное количество спирта и навеска кристаллического катализатора смешивались до полного растворения последнего. После приготовления катализатора проводилась основная реакция.

2.2.4 Проведение синтеза биодизельного топлива

Заданное количество растительного масла помещалось в термостойкий стакан, нагревалось до требуемой температуры. После достижения заданной температуры в реакционный стакан добавлялся заранее приготовленный спиртовой раствор катализатора и с этого момента начинался отсчет времени синтеза. После окончания синтеза реакционная смесь охлаждалась до комнатной температуры, затем подвергалась разделению на целевой продукт и на непрореагировавшие компоненты.

2.2.5 Разделение продуктов синтеза биодизельного топлива

Для лучшего разделения добавлялся глицерин в количестве 25 % от массы растительного масла. После отстаивания в делительной воронке наблюдалось разделение реакционной смеси на две фазы, где нижняя фаза составляет глицерин и непрореагировавшие реагенты, а верхняя – этиловые эфиры жирных кислот (БиоДТ) и остаточный спирт.

Остаточный непрореагировавший этиловый спирт из полученного продукта отгонялся на роторном испарителе под вакуумом.

2.3 Методы исследования состава и свойств дизельного топлива, биодизельного топлива и их смесей

2.3.1 Методика определения плотности и вязкости

Определение вязкости и плотности проводилось согласно методике [31]. Метод основан на одновременном измерении динамической вязкости и плотности, а кинематическая вязкость рассчитывается путем деления динамической вязкости на плотность.

Аппарат, на котором производилось определение, представлен на рисунке 2.2. В отличие от классического метода определения кинематической вязкости, основанного на измерении времени истечения жидкости через стандартный стеклянный вискозиметр и расчете динамической вязкости по полученным результатам, данный прибор работает по обратному принципу, т.е. кинематическая вязкость рассчитывается по определенной динамической.



Рисунок 2.2 – Вискозиметр Штабингера SVM3000 (Anton Paar) [32]

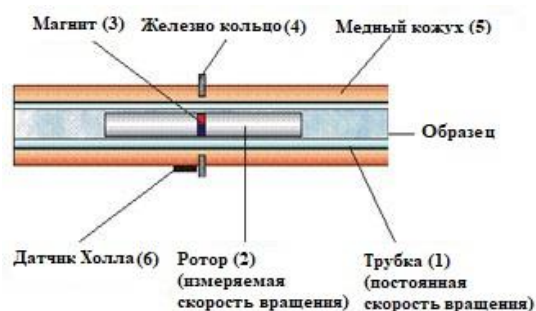


Рисунок 2.3 – Вискозиметрическая ячейка [32]

На рисунке 2.3 представлены основные элементы, входящие в состав вискозиметрической ячейки. Через трубку (1) пропускается исследуемый образец, вращение трубки происходит с постоянной скоростью. В трубку помещен цилиндрический полый ротор (2), снабженный постоянным магнитом, и за счет железного кольца (4) происходит центрирование ротора. Вращение трубки (1) обеспечивает взаимное смещение слоев жидкости и вращение ротора. Наличие магнита (3) позволяет вращаться внешней трубке и ротору с разными скоростями, иначе в состоянии равновесия они вращались бы с одинаковой скоростью. Переменное магнитное поле приводит к появлению вихревых токов в медном корпусе. Именно за счет этих токов происходит торможение ротора, препятствию которому составляет только вязкость жидкости. Таким образом, разница скоростей вращения внешней трубки и ротора определяет динамическую вязкость.

Для определения скорости вращения ротора предусмотрен датчик Холла (6), на который действует переменное поле от внутреннего магнита. Датчик преобразует энергию магнитного поля в потенциал постоянного тока.

Прибор также выполняет функцию измерения плотности исследуемой жидкости. Аппарат снабжен цифровым анализатором плотности (рисунок 2.4), состоящим из U-образной осциллирующей трубкой и системой электронного возбуждения и определения частоты. Проведение испытания проводилось в соответствии с [33]. Принцип определения основан на измерении частоты колебаний U-образной трубки, вызываемых электромагнитный генератором.

При заполнении трубки исследуемым образцом частота колебаний изменяется в зависимости от плотности вещества.

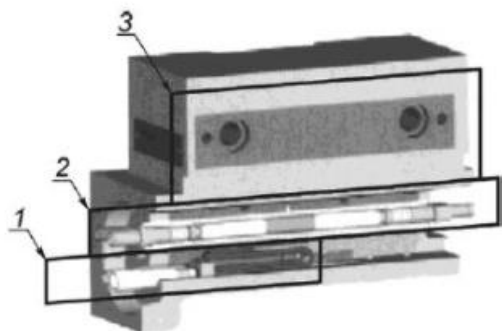


Рисунок 2.4 – Блок ячеек вискозиметра Штабингера [31]:

- 1 – цифровой анализатор плотности;
- датчик на основе эффекта Холла;
- 3 – термоэлектрическая система нагрева и охлаждения

Значения динамической, кинематической вязкости и плотности выводятся на цифровое табло прибора.

В данной работе плотность и вязкость исследуемых образцов определялись при температурах 15, 20 и 40 °С.

2.3.2 Методика определения содержания серы

Определение содержания серы в образце ДТ проводилось согласно методике, представленной в [34]. Аппарат, на котором проводилось определение, представлен на рисунке 2.5. Спектроскан представляет собой рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный анализатор.



Рисунок 2.5 – Спектроскан S [35]

Методика определения заключается в помещении исследуемого образца в пучок лучей, испускаемых рентгеновской трубкой. При облучении пробы испускаемыми лучами происходит флуоресцирование, то есть вторичное излучение в том диапазоне, который отражает состав исследуемого образца. Изначально проводят измерение калибровочных образцов (контрольный образец и холостая проба), затем измерение двух параллельных проб испытуемого

образца. Итоговое значение содержания серы получается путем сравнения полученного сигнала от образца с сигналом, определенным при измерении калибровочных образцов. Результат выводится на дисплей и распечатывается с помощью встроенного принтера.

2.3.3 Методика определения фракционного состава

Определение фракционного состава исследуемых образцов проводилось на аппарате АРНС-Э (рисунок 2.6) согласно методике [36].



Рисунок 2.6 – Аппарат АРНС-Э для разгонки нефтепродуктов [37]

Метод заключается в перегонке 100 мл образца при условиях, соответствующих природе продукта, с постоянным наблюдением за показаниями термометра и объемами конденсата. Температуру падения первой капли сконденсированного пара отмечают как температуру начала кипения. Затем с равномерной скоростью, примерно 1-2 капли в 1 с, ведут перегонку. После окончания перегонки в течение около 5 мин дают стечь оставшемуся конденсату и записывают конечный объем жидкости в цилиндре.

2.3.4 Методика определения цетанового индекса

Расчет ЦИ производился согласно зарубежному стандарту [38].

Суть расчетного метода заключается в том, что необходимы результаты лабораторных исследований образцов, а именно значения плотности при 15 °С и температуры, при которой отгоняется 10, 50 и 90 % об. образца. Эти значения подставляются в уравнение для расчета ЦИ:

$$\text{ЦИ} = 45,2 + 0,0892 \cdot T_{10N} + (0,131 + 0,901 \cdot B) \cdot T_{50N} + (0,0523 - 0,42 \cdot B) \cdot T_{90N} + [0,00049 \cdot (T_{10N}^2 - T_{90N}^2) \cdot 107 \cdot B + 60 \cdot B^2],$$

где $T_{10N} = T_{10\%} - 215$; $T_{50N} = T_{50\%} - 260$; $T_{90N} = T_{90\%} - 310$;

Коэффициент B рассчитывается по формуле:

$$B = [\exp(-0,0035 \cdot D_N)] - 1; D_N = D - 850,$$

где $T_{10\%}$, $T_{50\%}$, $T_{90\%}$ – температуры кипения 10, 50 и 90 %-ой фракции (по объему) соответственно, °C; D – плотность образца при 15 °C, кг/м³.

2.3.5 Методика определения температур помутнения и застывания

T_{Π} и T_3 определялись согласно методикам, представленным в [39] и [40] соответственно. Сущность метода состоит в том, что подготавливают стандартную пробирку с двойными стенками (рисунок 2.7) и в нее наливают испытуемое топливо до высоты метки. Испытуемый образец помещают в охлаждающий аппарат (рисунок 2.8).

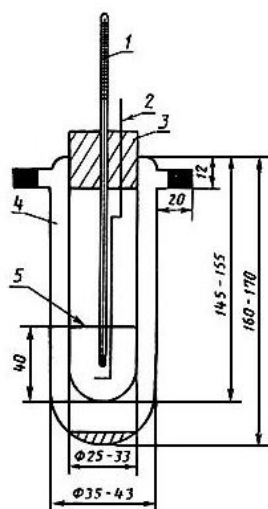


Рисунок 2.7 – Пробирка с двойными стенками и мешалкой [40]:

1 – термометр; 2 – мешалка; 3 – корковая пробка;
4 – пробирка; 5 – кольцевая метка



Рисунок 2.8 – Жидкостный низкотемпературный термостат КРИО-ВТ-05-01 [41]

Пробирку охлаждают и визуально наблюдают за изменениями в течение времени. Температуру, при которой в испытуемом топливе наблюдается появление мути, что свидетельствует о начале кристаллизации компонентов топлива, принимают за T_{Π} данного образца топлива.

2.3.6 Методика определения предельной температуры фильтруемости

1 – калибровочная метка

49

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Целью раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения работ в рамках ВКР;
- определение возможных альтернатив проведения работ, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование работы;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности работы.

Данный раздел посвящен обоснованию экономической целесообразности использования биодизельных топлив (БиоДТ) в качестве смесового компонента товарных дизельных топлив (ДТ).

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В ходе исследования потребителей БиоДТ был проанализирован целевой рынок и проведено его сегментирование.

Продуктом исследования является товарное топливо, полученное смешением БиоДТ и нефтяного ДТ. В качестве целевого рынка представлены промышленные предприятия нефтеперерабатывающей отрасли (Таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Сегментирование рынка

Размер предприятия	Способы получения				
	гидродеоксигенация	деоксигенация	переэтерификация	пиролиз	микроэмульгирование
Крупное					
Среднее					
Малое					

Как видно из таблицы 5.1, наиболее рациональным способом получения БиоДТ с его последующим смешением с нефтяным ДТ, является процесс переэтерификации, так как процесс может осуществляться на предприятии независимо от его размера, это обусловлено простотой процесса, доступностью сырья и относительной дешевизной.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиций ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Получение метиловых или этиловых эфиров жирных кислот (БиоДТ) возможно различными путями. В данной работе рассмотрена технология получения БиоДТ реакцией переэтерификацией с использованием гомогенного щелочного катализатора. В качестве конкурентных технических решений рассмотрена переэтерификация с использованием гетерогенного катализатора и переэтерификацию без применения катализатора с использованием сверхкритического спирта в качестве переэтерифицирующего агента.

В таблице 5.2 представлен сравнительный анализ конкурентных технических решений.

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Бф	Бк1	Бк2
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Большой выход продукта	0,15	4	5	4	0,6	0,75	0,6

Продолжение таблицы 5.2

2. Экспрессность	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
3. Наличие сложного оборудования	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
4. Чистота продукта	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
5. Надежность	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
6. Энергоэкономичность	0,05	4	5	2	0,2	0,25	0,1
7. Потребность в больших ресурсах	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность проекта	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
3. Цена	0,2	5	3	2	1	0,6	0,4
Итого	1	45	42	32	4,5	4,15	3,2
ф – техническое решение, предлагаемое в рамках данной работы; к1 – первое конкурентное техническое решение; к2 – второе конкурентное техническое решение.							

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя.

Согласно таблице 5.2, рассматриваемая технология получения БиодТ является наиболее конкурентоспособна, так как, по сравнению с конкурентными разработками, является более дешевой, не требует наличия сложного оборудования и при этом выход целевого продукта довольно высок.

5.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ (Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы)) – это инструмент стратегического анализа и планирования, применяемый для оценки явлений и факторов, оказывающих влияние на компанию или проект [44].

Для определения критериев, влияющих на эффективной/неэффективной проекта, а также исследования внешней и внутренней среды проекта была составлена матрица SWOT-анализа (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Проведение экспериментов на высокотехнологичном оборудовании с низкой долей погрешности. С2. Относительное новое направление изучения. С3. Глубокое изучение своего направления каждым участником вследствие делегирования обязанностей. С4. Наличие большого ассортимента сырья для более комплексного исследования. С5. Простота процесса.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Недостаточной большой объем проведенных экспериментов. Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для более комплексного исследования. Сл3. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Использование топлива с более лучшими свойствами. В3. Появление дополнительного спроса на продукт научных исследований.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности» Выявление оптимального соотношения БиоДТ/ДТ для получения товарного ДТ с использованием БиоДТ, полученного из разного сырья.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности» Отсутствие некоторых показателей качества может стать причиной возникновения интереса у других научных групп для получения более полных результатов.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на технологии. У2. Введение новых норм стандарта для продукта. У3. Опровержение практикой полученных экспериментальных данных.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы» Выявленное оптимальное соотношение БиоДТ/ДТ может опровергаться практикой.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы» Недостаток некоторых показателей может стать причиной несоответствия качеству товарного топлива

Проведенный SWOT-анализ позволил выявить сильные и слабые научно-исследовательского проекта, а также его угрозы и возможности. По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что данный проект направлен на выявление оптимального соотношения БиоДТ/ДТ с разными видами сырья, что дает более полное представление о влиянии БиоДТ на свойства смесового топлива. Но также есть угроза, что выявленное оптимальное соотношение может быть не точным и тогда данное топливо будет не соответствовать требуемому

качеству. Таким образом, для устранения слабых сторон и угроз проекта необходимо провести большее количество экспериментов с определением регламентируемых показателей.

5.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Для определения возможных альтернатив проведения научных исследований наиболее популярен морфологический подход. Данный подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляют практический интерес.

В рамках данной работы составлена морфологическая матрица для получения БиодТ тремя технологиями (1 – переэтерификация с использованием гомогенного щелочного катализатора, 2 – переэтерификация с использованием гетерогенного катализатора и 3 – переэтерификация без катализатора). Данные представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Морфологическая матрица для получения БиодТ разными технологиями

	1	2	3
А. Наличие катализатора	Гомогенный щелочной	Гетерогенный	Без катализатора
Б. Время реакции	1 ч	1 ч	3-5 мин
В. Температура процесса	45 °С	180-200 °С	350-400 °С
Г. Давление процесса	Атмосферное	Атмосферное	80 атм
Д. Соотношение масло:переэтерифицирующий агент	1:6	1:3	1:42

Таким образом, были предложены три варианта решения технической задачи, которые будут использоваться в дальнейших расчетах.

- исполнение 1: А1Б1В1Г1Д1;
- исполнение 2: А2Б2В2Г2Д2;
- исполнение 3: А3Б3В3Г3Д3.

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения исследований.

5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научно-исследовательской работы (НИР) была сформирована рабочая группа, в состав которой входят: студент, аспирант, научный руководитель, также консультанты по финансовой части (ФЧ) и социальной ответственности (СО). При проведении практической части НИР был задействован аспирант в лице Белозерцевой Н.Е., с которой были проанализированы и обсуждены полученные экспериментальные данные, поэтому данный член группы включен в календарный график и смету расходов. В таблице 5.5 представлен перечень этапов и работ в рамках проведения исследовательской работы и распределение исполнителей по отдельным видам работ.

Таблица 5.5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, консультант ФЧ, консультант СО
Выбор направления исследований	2	Выбор темы исследования	Научный руководитель, студент
	3	Поиск и изучение литературы по выбранной теме	Студент
	4	Календарное планирование экспериментов	Аспирант, студент
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Поиск необходимых методик для проведения экспериментов	
	6	Проведение экспериментов	Студент

Продолжение таблицы 5.5

	7	Сопоставление результатов экспериментов и выявление зависимостей	Аспирант, студент
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, аспирант, студент
Проведение ВКР			
Оформление отчет по научно-исследовательской работе	9	Составление пояснительной записки	Научный руководитель, аспирант, студент
	10	Сдача работы на рецензию	Студент
	11	Предзащита ВКР	Научный руководитель, студент
	12	Подготовка к защите ВКР	Студент
	13	Защита ВКР	

5.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Расчет трудоемкости выполнения научного исследования носит вероятностный характер, оценивание выполняется экспертным путем в человеко-днях. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула [44]:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5},$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях, учитывающая

параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Расчет производится по следующей формуле [44]:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

5.3.3 Разработка графика проведения исследования

При выполнении ВКР студенты становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем, поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [1].

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой [44]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -ой работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле (рабочая неделя участников группы является 6-дневной):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22,$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Результаты расчета временных показателей по приведенным выше формулам представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Временные показатели проведения научного исследования

Номер работы	Трудоемкость работ									Длительность работ в рабочих днях, T _p _i			Длительность работ в календарных днях, T _k _i		
	t _{min} , чел- дни			t _{max} , чел- дни			t _{ож i} , чел-дни								
	С	А	Н	С	А	Н	С	А	Н	С	А	Н	С	А	Н
1	–	–	1	–	–	2	–	–	1,4	–	–	1,4	–	–	2
2	1	–	1	2	–	2	1,4	–	1,4	0,7	–	0,7	1	–	1
3	5	–	–	8	8	–	6,2	3,2	–	3,1	1,6	–	4	2	–
4	1	–	–	1	1	–	1	0,4	–	0,5	0,2	–	1	1	–
5	1	1	–	1	1	–	1	1	–	0,5	0,5	–	1	1	–
6	55	–	–	60	–	–	57	–	–	57	–	–	71	5	–
7	5	–	–	7	7	–	5,8	2,8	–	2,9	1,4	–	4	2	–
8	8	8	8	10	10	10	8,8	8,8	8,8	2,9	2,9	2,9	4	4	4
9	45	7	6	50	10	8	47	8,2	6,8	16	2,7	2,3	21	4	3
10	1	–	–	4	–	–	2,2	–	–	2,2	–	–	3	–	–
11	1	–	1	1	–	1	1	–	1	0,5	–	0,5	1	–	1
12	5	–	–	6	–	–	5,4	–	–	5,4	–	–	7	–	–
13	1	–	–	1	–	–	1	–	–	1	–	–	1	–	–

С – студент; А – аспирант; Н – научный руководитель.

На основании таблицы 5.6 построен календарный план-график, представленный в приложении А (таблица А.1).

5.4 Бюджет научно-исследовательской работы

В процессе формирования бюджета НИР используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НИР;
- затраты на оборудование;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

5.4.1 Расчет материальных затрат научно-исследовательской работы

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле [44]:

$$З_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{расх } i},$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх } i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (принимается в пределах 15-25 %).

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, размещенным в открытом доступе в Интернете предприятиями-изготовителями (таблица 5.7). Транспортные расходы (k_T) равняются 20 % от стоимости материалов.

Таблица 5.7 – Материальные затраты проекта

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, $З_M$, руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Растительные масла: подсолнечное	л	1	1	1	109	109	109	131	131	131
кукурузное	л	1	1	1	175	175	175	210	210	210
рапсовое	л	1	1	1	110	110	110	132	132	132
Образцы дизельного топлива	л	5	5	5	48	48	48	288	288	288
Спирт этиловый	л	5	5	15	57	57	57	342	342	1026
Гидроксид натрия	кг	0,2	–	–	150	–	–	36	–	–
Гетерогенный катализатор	кг	–	0,2	–	–	285	–	–	342	–
Глицерин	л	1	–	–	250	–	–	300	–	–
Стакан стеклянный лабораторный	шт.	2	2	2	390	390	390	936	936	936
Термометр горячий	шт.	2	2	2	2500	2500	2500	6000	6000	6000
Колба круглодонная	шт.	1	1	1	472	472	472	567	567	567

Продолжение таблицы 5.7

Металлическая фольга	шт.	1	1	1	713	713	713	856	856	856
Воронка делительная	шт.	2	2	2	1650	1650	1650	3960	3960	3960
Колба коническая	шт.	3	3	3	750	750	750	2700	2700	2700
Пробирка с двойными стенками	шт.	2	2	2	1500	1500	1500	3600	3600	3600
Низкотемпературный термометр	шт.	2	2	2	2700	2700	2700	6480	6480	6480
Флакон стеклянный	шт.	12	12	12	60	60	60	864	864	864
Колба Энглера	шт.	1	1	1	560	560	560	672	672	672
Итого								28074	28079	28421

5.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ

Все расчеты по приобретению спецоборудования, включая 15 % на затраты по доставке и монтажу, отображены в таблице 5.8.

В таблице 5.9 приведены амортизационные отчисления, рассчитанные линейным методом.

Таблица 5.8 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Плитка электрическая VITEK	2	1,6	3,68
2	Весы лабораторные	1	18,0	20,70
3	Перемешивающее устройство ЭКРОС ES-8300	1	50,8	58,42
4	Ротационный испаритель ИКА RV 3 V	1	165,3	190,10
5	Термостат жидкостный низкотемпературный «КРИОВТ-05-01»	1	295,0	339,25
6	Вискозиметр-плотномер Штабингера SVM 3000	1	235,1	270,37
7	Спектроскан S	1	2 200,0	2 530,00
8	Аппарат АРНС-1Э	1	148,2	170,45
	Итого			3582,97

Таблица 5.9 – Амортизационные отчисления

№ п/п	Стоимость оборудования, руб.	Срок службы оборудования, лет	Норма амортизации, %	Величина амортизации, руб.
1	3680	5	20	736
2	20700			4140
3	58420			11684
4	190100			38020
5	339250			67850
6	270370			54074
7	2530000			506000
8	170450			34090
Итого				716594

5.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Заработная плата ($Z_{зп}$) включает основную заработную плату ($Z_{осн}$) работников (включая премии, доплаты), непосредственно участвующих в НИР, и дополнительную заработную плату ($Z_{доп}$) (12-20 % от $Z_{осн}$) [44]:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых исследователем;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{дн}},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{дн}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 5.10).

Таблица 5.10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Аспирант	Студент
Календарное число дней	365	365	365

Продолжение таблицы 5.10

Количество нерабочих дней – выходные дни – праздничные дни	66	66	66
Потери рабочего времени – отпуск – невыходы по болезни	61	61	61
Действительный годовой фонд рабочего времени	238	238	238

Месячный должностной оклад работника [44]:

$$З_m = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p,$$

где $З_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 % от $З_{тс}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2-0,5;

k_p – районный коэффициент, для Томска равный 1,3.

Средний должностной оклад сотрудников на 2021 год: научный руководитель – 32 894 руб.; аспирант (инженер-исследователь) – 21 611 руб.; студент (младший научный сотрудник) – 21 611 руб.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	$З_m$, руб.	T_p , раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
Научный руководитель	14458,9	0,3	0,45	1,3	32894	7,8	11211,7
Аспирант	9499,3	0,3	0,45	1,3	21611	9,4	8845,4
Студент	9499,3	0,3	0,45	1,3	21611	92,4	87257,6
Итого							107314,6

5.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы проводится по следующей формуле [44]:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн},$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (принимается равным из диапазона 0,12-0,15).

Расчет общей заработной платы представлен в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	Основная заработная плата, $Z_{\text{осн}}$, руб.	Дополнительная заработная плата		Заработная плата, $Z_{\text{зп}}$, руб.
		$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{доп}}$, руб.	
Научный руководитель	11211,7	0,14	1569,6	12781,3
Аспирант	8845,4	0,14	1238,4	10083,8
Студент	87257,6	0,14	12216,1	99473,7
Итого	107314,6		15024,1	122338,8

5.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется, исходя из следующей формулы [44]:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 5.13.

Таблица 5.13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, $Z_{\text{осн}}$, руб.	Дополнительная заработная плата, $Z_{\text{доп}}$, руб.
Научный руководитель	11211,7	1569,6
Аспирант	8845,4	1238,4
Студент	87257,6	12216,1
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,30	
Отчисления во внебюджетные фонды, $Z_{\text{внеб}}$, руб.		
Научный руководитель	$Z_{\text{внеб}} = (11\,211,7 + 1\,569,6) \cdot 0,3 = 3834,4$	
Аспирант	$Z_{\text{внеб}} = (8\,845,4 + 1\,238,4) \cdot 0,3 = 3025,1$	
Студент	$Z_{\text{внеб}} = (87\,257,6 + 12\,216,1) \cdot 0,3 = 29842,1$	
Итого	36701,6	

5.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов (печать и ксерокопирование, оплата услуг связи, электроэнергии и т.п.). Их величина определяется по следующей формуле [44]:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (величина принята в размере 16 %).

5.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательской работы

Рассчитанная величина затрат НИР является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на НИР по каждому варианту исполнения приведено в таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Расчет бюджета затрат НИР

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты	28074	28079	28421	Пункт 5.3.1 таблица 5.6
2. Затраты на специальное оборудование для научных работ (величина амортизации)	716594	716594	716594	Пункт 5.3.2 таблица 5.8
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	107314,6	107314,6	107314,6	Пункт 5.3.3 таблица 5.10
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	15024,1	15024,1	15024,1	Пункт 5.3.4 таблица 5.11
5. Отчисления во внебюджетные фонды	36701,6	36701,6	36701,6	Пункт 5.3.5 таблица 5.12
6. Накладные расходы	144593,3	144593,3	144593,3	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат	1048301,6	1048306,6	104648,6,6	Сумма ст. 1-6

5.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности исследования. Его нахождение

связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле [44]:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения исследовательского проекта (в т. ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{1048301,6}{1048648,6} = 0,9997 \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{1048306,6}{1048648,6} = 0,9997 \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{1048648,6}{1048648,6} = 1$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом [44]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

В таблице 5.15 представлены данные для расчета интегрального показателя ресурсоэффективности.

Таблица 5.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует получению топлива с наилучшими экологическими свойствами	0,25	5	5	5
2. Удобство в проведении исследования на практике в силу его простоты, не требуемой специального обучения	0,25	5	4	3

Продолжение таблицы 5.15

3. Низкая себестоимость по сравнению с другими методами исследования	0,2	5	3	2
4. Энергосбережение	0,1	4	5	2
5. Надежность	0,1	4	5	3
6. Материалоемкость	0,1	4	5	2
ИТОГО	1			

$$I_{p-исп.1} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 = 4,7$$

$$I_{p-исп.2} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 = 4,35$$

$$I_{p-исп.3} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 3 + 0,2 \cdot 2 + 0,1 \cdot 2 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 2 = 3,1$$

Интегральный показатель эффективности данного варианта исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп.1}}{I_{исп.1}^{фин}} = \frac{4,7}{0,9997} = 4,7 \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп.2}}{I_{исп.2}^{фин}} = \frac{4,35}{0,9997} = 4,35 \quad I_{исп.3} = \frac{I_{p-исп.3}}{I_{исп.3}^{фин}} = \frac{3,1}{1} = 3,1$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{p-исп.1}}{I_{p-исп.2}} = \frac{4,7}{4,35} = 1,08; \quad \mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{p-исп.1}}{I_{p-исп.3}} = \frac{4,7}{3,1} = 1,52.$$

Аналогично для других проектных решений.

Показатели эффективности проекта представлены в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,9997	0,9997	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	4,35	3,1
3	Интегральный показатель эффективности	4,7	4,35	3,1
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,08	0,93	0,66
		1,52	1,40	0,71

Таким образом, согласно таблице 5.16, настоящий проект, предлагаемых технологию получения БиоДТ, который впоследствии послужит смесевым компонентом к нефтяному ДТ, является более ресурсоэффективным, чем конкурентные технологии получения БиоДТ.

5.6 Выводы по разделу

В данном разделе проанализирован коммерческий потенциал данного научного исследования и его перспективы на рынке.

Описав и проанализировав потенциальных потребителей результатов исследования, проведен SWOT-анализ и показана итоговая матрица стратегии данной работы.

Проведено планирование научно-исследовательской работы, в результате чего определена структура работ и ее исполнители, установлена продолжительность работ, результатом явился построенный календарный план-график (таблица А.1) проведения научно-исследовательской работы по определению целесообразности использования БиодТ в качестве смесового компонента товарных ДТ.

Проведен расчет бюджета научно-исследовательской работы, в ходе которого были рассчитаны материальные затраты и затраты на специальное оборудование для проведения исследований, а также произведен расчет общей заработной платы, отчислений во внебюджетные фонды и накладных расходов. В результате данных расчетов был сформирован общий бюджет научно-исследовательской работы, составивший 1048301,6 руб.

Показатели эффективности разработки показывают, что выбранный вариант исполнения эффективен. Таким образом, использование БиодТ, полученного перэтерификацией с использованием гомогенного щелочного катализатора, в качестве смесового компонента к нефтяному ДТ для получения товарного топлива будет более эффективным с финансовой точки зрения и ресурсоэффективности, чем использование БиодТ, полученным другим вариантом.

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В связи с ухудшением экологической ситуации в мире, вызванной увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере, наиболее популярным становится применение альтернативных источников энергии в качестве моторного топлива. БиоДТ, являющееся альтернативой нефтяному ДТ, может применяться как в чистом виде, так и в виде смесевой добавки к нефтяному ДТ.

Сущность данной работы заключается в исследовании целесообразности использования БиоДТ в качестве смесового компонента товарных ДТ.

Выявление оптимального соотношения БиоДТ/ДТ, соответствующее требованиям [20], позволит получать товарное топливо и использовать его в дизельных двигателях внутреннего сгорания.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В данном подразделе рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства, также приведены основные эргономические требования к компоновке рабочей зоны для создания комфортной рабочей среды при проведении исследований целесообразности использования БиоДТ в качестве смесового компонента товарных ДТ.

6.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Согласно [45], каждый работник 134 лаборатории 2 корпуса ТПУ имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об

условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;

- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;

- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;

- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

Согласно [45] главе 21, работник, занятый на тяжелых работах, работах с вредными или опасными и иными особыми условиями труда, имеет право получать повышенную ставку оплаты труда.

6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочим местом выполнения исследований целесообразности использования БиодТ в качестве смесового компонента товарных ДТ является химическая 134 лаборатория 2 корпуса отделения химической инженерии ТПУ. Лаборатория оборудована вентиляцией, водоснабжением и канализацией. Полы выполнены из жаростойкой и гидрофобной керамогранитной плитки. Лабораторный столы имеют гладкие поверхности из материалов, не сорбирующих вредные вещества, и легко поддаются очистке.

Работа с вредными и легколетучими веществами производится в вытяжных шкафах, обеспечивающих изоляцию работающих от опасной среды. Помещение хорошо освещено как дневным, так и искусственным светом.

В условиях химических лабораторий в задачи производственной санитарии входит предупреждение профессиональных отравлений,

предотвращение воздействия на работающих ядовитых и раздражающих веществ, производственной пыли, шума и других вредных факторов, определение предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в воздухе производственных помещений, разработка и эксплуатация средств индивидуальной защиты, системы вентиляции, отопления и рационального освещения [46].

6.2 Производственная безопасность

В данном разделе были проанализированы вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при проведении исследований в лаборатории.

6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования

Эксплуатация объекта исследования осуществляется исследователями в химической лаборатории. Перечень опасных и вредных факторов, присутствующих при выполнении исследований, представлен в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра- ботка	Изготов- ление	Эксплу атация	
1. Присутствие вредных веществ (таблица 6.2) в работе		+	+	ГОСТ 12.1.007-76 [47]
2. Повышенный уровень шума		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [48]
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	ГОСТ Р 55710-2013 [49]
4. Неудовлетворительный микроклимат	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 [50]
5. Наличие взрывоопасных и токсичных веществ		+	+	ПБ 09-540-03 [51]
6. Поражение электрическим током		+	+	ГОСТ Р 12.1.019-2009 [52]

Таблица 6.2 – Вредные вещества и их характеристика [20, 53-54]

Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Воздействие на организм
Топливо дизельное	300	4	Сильное раздражает слизистую оболочку и кожу. Высокие концентрации паров действуют на центральную нервную систему человека и оказывают наркотическое воздействие при вдыхании

Продолжение таблицы 6.2

Спирт этиловый	1000	4	При длительном воздействии больших доз может вызвать тяжелые органические заболевания нервной системы, печени, сердечно-сосудистой системы, пищеварительного тракта.
Гидроксид натрия	0,5	2	Действуют на ткани прижигающим образом, растворяя белки с образованием щелочных альбуминатов. При попадании растворов или пыли на кожу и в особенности на слизистые оболочки образуется мягкий струп. При постоянной работе с ними часто язвы на пальцах рук; узелковые дерматиты; возникновение экзем, особенно в суставных складках пальцев. При попадании в глаза даже в малых количествах поражает роговицу, а также глубокие части глаза. Исходом может быть слепота.

Повышенный уровень шума. Шум может оказывать вредное воздействие на центральную нервную систему, вызывая переутомление и истощение клеток головного мозга. Сильный шум оказывает влияние на работоспособность людей, продолжительное воздействие шума вызывает общее утомление организма, как следствие происходит снижение концентрации внимания, что может вызвать снижение производительности труда, а также стать причиной возникновения несчастных случаев.

Влияние шума может привести к возникновению профессиональных заболеваний (шумовая болезнь), которые проявляются в виде тугоухости, гипертонии, головных болях.

Для химической 134 лаборатории характерны следующие виды шумов:

- механический шум (при трении, биении узлов и деталей машин делительных воронок, механической мешалки);
- аэрогидродинамический шум (возникает в аппаратах при больших скоростях движения газа или жидкости и при резких направлениях их движения и давления).

Согласно [48], ПДК уровня шума в измерительных и аналитических лабораториях составляет 60 дБ.

В качестве средств индивидуальной защиты для органов слуха от шума и вибрации применяются наушники, беруши. Наушники понижают негативное воздействие в диапазоне от 7 до 38 дБ с частотой от 125 до 8000 Гц.

Вкладыши (беруши) закрывают слуховой проход. Этот вид защиты дешев, компактен и применим ко многим ситуациям, но не всегда результативен, т.к. снижает уровень негативного воздействия всего на 5-20 дБ.

Согласно [55], условия труда по шумовому фактору в 134 лаборатории 2 корпуса ТПУ соответствуют допустимым нормам.

Недостаточная освещенность. Плохое освещение негативно воздействует на зрение, приводит к быстрому утомлению, снижает работоспособность, вызывает дискомфорт, является причиной головной боли и бессонницы.

В 134 лаборатории 2 корпуса ТПУ используется совмещенное освещение рабочей зоны, представляющее собой совокупность естественного и искусственного освещения. При работе наряду с общим искусственным освещением использовалось местное освещение. Естественное освещение – одностороннее боковое; искусственное – общее равномерное. Источники света – люминесцентные лампы.

Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения в соответствии с [56] представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности и высота над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение	
		КЕО e_n , %		КЕО e_n , %	
		при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
Лаборатории органической и неорганической химии	Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7

Продолжение таблицы 6.3

Помещение	Искусственное освещение				
	Освещенность, лк			Показатель дискомфорта, М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, К _П , %, не более
	при комбинированном освещении		при общем освещении		
	всего	от общего			
Лаборатории органической и неорганической химии	500	300	400	40	10
КОЕ – коэффициент естественной освещенности; Г – горизонтальная плоскость.					

Согласно [55], условия труда по световому фактору в 134 лаборатории 2 корпуса ТПУ соответствуют допустимым нормам.

Длительное воздействие на человека *неблагоприятных показателей микроклимата* ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда и приводит к заболеваниям, поэтому в организации должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата.

Согласно классификации работ по энергозатратам, лабораторные исследования можно отнести к категории Пб и интенсивностью энергозатрат 151-200 ккал/час (175-232 Вт), так как работа связана с постоянной ходьбой, также перемещением и переноской тяжестей до 10 кг (образцы нефти, механические мешалки, колбы, воронки, бутылки с жидкостью). Оптимальные и допустимые показатели характеристики микроклимата представлены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Оптимальные значения характеристик микроклимата						
Период года	Температура воздуха, °С		Температура поверхность, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
Холодный	17-19		16-20	60-40	0.2	
Теплый	19-21		18-22	60-40	0,2	
Допустимые значения характеристик микроклимата						
Период года	Температура воздуха, °С		Температура поверхность, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	ниже оптимальной	выше оптимальной			ниже оптимальной	выше оптимальной
Холодный	15,0-16,9	19,1-22,0	14,0-23,0	15-75	0,2	0,4
Теплый	16,0-18,9	21,1-27,0	15,0-28,0	15-75	0,2	0,5

В лаборатории создание микроклимата обеспечивается естественное вентиляцией: форточки, двери, приточная вытяжная вентиляция. Летом помещения проветриваются с помощью кондиционеров. В зимнее время помещения нагревают центральным отоплением.

Согласно [55], условия труда по микроклимату в 134 лаборатории 2 корпуса ТПУ соответствуют допустимым нормам.

Наличие взрывоопасных и токсичных веществ. Нефтепродукты являются вредными и взрывоопасными, сами нефтепродукты или их пары могут воспламеняться при появлении искры или самовозгораться при нагреве, в критических ситуациях может произойти взрыв.

Согласно [57], ПДК паров в рабочей зоне для нефти составляет 10 мг/м³ (III класс опасности), для дизельного топлива – 300 мг/м³ (IV класс).

Одним из основных требований предупреждения несчастных случаев и пожаров является исключение скопления паров, газов и жидких нефтепродуктов, это обеспечивается путем вентиляции мест возможного их скопления и уборки разлитого нефтепродукта. Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости хранятся в специальном (кладовом) помещении в емкостях плотно закупоренных.

Все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям пожарной безопасности и иметь средства пожаротушения по [58].

Поражение электрическим током. По опасности поражения электрическим током лаборатория относится к первому классу – «помещения без повышенной опасности», т.е. помещение сухое (влажность до 60 %), хорошо проветриваемое, хорошо отапливаемое (температура воздуха до 30 °С), без токопроводящей пыли, с токонепроводящими полами [59].

Основными причинами электротравматизма являются неисправное электрическое оборудование, несоответствие типа электроустановок и защитных средств, несвоевременная замена неисправного или устаревшего оборудования.

В целях предотвращения электротравматизма запрещается работать на неисправных электрических приборах и установках, перегружать электросеть, переносить и оставлять без надзора включенные электроприборы, загромождать подходы к электрическим устройствам.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током в лаборатории используются следующие средства защиты: защитные оболочки, защитные ограждения (щиты), изоляция токоведущих частей, знаки безопасности, защитное заземление, зануление, защитное отключение.

В целях обеспечения безопасности работ в действующих электроустановках принимают следующие организационные меры: назначают лиц, ответственных за организацию и производство работ; оформляют наряд или распоряжение; организуют допуск к проведению работ и надзор за их проведением; оформляют перерывы в работе, переводы на другие рабочие места и устанавливают время окончания работ.

6.2.2 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов

Согласно [60], специальную оценку условий труда осуществляют организации, которые должны соответствовать следующим требованиям:

1) основным видом или одним из основных видов деятельности организации является проведение специальной оценки условий труда;

2) наличие в составе организации не менее пяти экспертов, имеющих сертификат эксперта на право выполнения работ по специальной оценке условий труда;

3) наличие в составе аккредитованной испытательной лаборатории.

Соответствие требованиям условий труда на рабочих местах подтверждается декларацией, в которой содержатся сведения о результатах проведения специальной оценки условий труда.

6.3 Экологическая безопасность

Одной из ключевых проблем современного мира является проблема охраны окружающей среды. Химическая лаборатория не является особо опасным объектом воздействия на окружающую среду.

Существует два основных подхода к проблеме защиты окружающей среды:

- путем максимально эффективной очистки;
- путем создания замкнутой безотходной технологической системы.

Для лаборатории наиболее оптимален выбор первого варианта

6.3.1 Воздействие на атмосферу

Так как в условиях лаборатории выбросы в атмосферу характеризуются незначительным содержанием вредных газов и паров, то для очистки достаточно использование адсорбционного фильтра.

Для этого в лаборатории на выходе вентиляционных труб установлены перегородки, поверх которых уложен слой адсорбента. В качестве адсорбента наиболее часто используют активированный уголь. Воздушный поток, пройдя через слой адсорбента, очищается от вредных газов и паров [61].

6.3.2 Воздействие на гидросферу

Все выбросы в канализацию также необходимо подвергать обезвреживанию и очистке. Для этих целей все отработанные кислотные и

щелочные сливы собираются в отдельную для каждого вида тару, затем подвергаются нейтрализации и только после этого они могут быть слиты в канализацию с их предварительным 10-кратным разбавлением водопроводной водой. Оработанные органические сливы собираются в специальную герметически закрытую тару, которую по мере заполнения отправляют на обезвреживание и утилизацию [62].

6.3.3 Воздействие на литосферу

Твердые отходы собираются в специальные сборники и увозятся для уничтожения. Наиболее опасными отходами для литосферы в условиях лаборатории являются оработанные люминесцентные лампы, относящиеся к 1 классу опасности. Их утилизация производится согласно [63].

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Одним из важнейших факторов в безопасности жизнедеятельности людей является подготовленность к чрезвычайным ситуациям. Согласно [64], чрезвычайная ситуация (ЧС) – это обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

К чрезвычайным ситуациям, которые может инициировать объект исследования, относят:

- производственные аварии (пожары, взрывы, выбросы вредных веществ);
- стихийные бедствия (наводнения, землетрясения, эпидемии и т.п.);
- социальные конфликты (терроризм, применение оружия массового поражения).

При проведении исследований наиболее вероятной ЧС в 134 лаборатории 2 корпуса ТПУ является ситуация техногенного характера, теоретически вызванная выходом из строя отсеков с хранением образцов ДТ, самовозгоранием топлива, пожаром на производстве.

Для ликвидации аварии разрабатываются планы, в которых предусматриваются мероприятия, направленные на спасение людей, ликвидации аварий.

6.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Лаборатория отделения химической инженерии относится к пожароопасной – к категориям «В» – производства, связанные с обращением с горючими и трудногорючими жидкостями [65].

Мероприятия по предотвращению наиболее вероятной ЧС представлены ниже согласно [58]:

- систематическая диагностика оборудования;
- обслуживание и ремонт вентиляторов, вытяжных шкафов, осветительных приборов;
- наличие современных сигнализаций и приборов контроля в помещении для исследования;
- систематический инструктаж персонала;
- планы поддержания рабочего состояния лаборатории после чрезвычайной ситуации или катастрофы.

В аварийных ситуациях, когда атмосфера лаборатории внезапно оказывается зараженной ядовитыми парами или газами, оставаться в помещении для ликвидации последствий аварии можно только в противогазе, при отключенных нагревательных приборах.

После дезактивации помещение необходимо проветрить. При возникновении пожара необходимо отключить электронагревательные приборы, вентиляцию, убрать огнеопасные вещества в безопасное место, одновременно, по возможности ликвидировать очаг.

При ЧС необходимо оповестить всех работников лаборатории об угрозе возникновения бедствия. При поступлении сигнала о возможном инциденте все работники лаборатории должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты, после чего в лаборатории отключается электроэнергия, водоснабжение. При необходимости персонал эвакуируется в безопасное место.

В корпусе 2 ТПУ имеется пожарная автоматика, сигнализация. В 134 лаборатории имеются первичные средства пожаротушения – огнетушители: ОП-3 (1 шт.), ОУ-3 (1 шт.); ящики с песком; асбестовые одеяла (кошмы).

6.5 Выводы по разделу

Проанализировав условия труда на рабочем месте, где выполнялись исследования целесообразности использования БиодТ в качестве смесового компонента товарных ДТ, можно сделать вывод, что исследовательская лаборатория удовлетворяет предъявляемым требованиям и нормам. При соблюдении техники безопасности и правил работы в химической лаборатории работа в лаборатории не повлияет на здоровье работника.

Действие вредных и опасных факторов в лаборатории сведено к минимуму. Микроклимат, освещение и уровень шума удовлетворяют требованиям, соблюдены все требования по электро- и пожаробезопасности.

При соблюдении описанных в работе правил утилизации отходов, деятельность в лаборатории не представляет опасности для экологии.

Проанализирована наиболее вероятная ЧС – самовозгорание топлива, вследствие чего, возникновение пожара. На основе данного анализа предложены мероприятия по предотвращению ЧС.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

№	Наименование работы, ее вид	Характер работы	Выходные данные	Объем, стр.	Соавторы
Публикации в рецензируемых научных изданиях, входящих в базы Scopus или Web of Science: 1					
1	The Use of Biodiesel as a Blend Component of Commercial Diesel Fuels	Печатная	Chemistry for Sustainable Development, 2020, Vol. 28, № 2, p. 128-137.	10	Belozertseva N.E. Bogdanov I.A. Balzhanova A.T. Sosnina D.V. Belinskaya N.S. Kirgina M.V.
Публикации в ведущих рецензируемых научных Российских и зарубежных журналах и изданиях, входящих в перечень ВАК: 1					
1	Использование биодизеля в качестве смесового компонента товарных дизельных топлив	Печатная	Химия в интересах устойчивого развития, 2020, Т. 28, № 2, с. 131-140.	10	Белозерцева Н.Е. Богданов И.А. Бальжанова А.Т. Соснина Д.В. Белинская Н.С. Киргина М.В.
Доклады и тезисы докладов, опубликованные в материалах российской Международной (Всероссийской) конференции: 9					
1	Commercial diesel fuel production using biodiesel synthesized from various plant feedstock	Печатная	Материалы XXII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулева и Н.М. Кижнера, посвященной 125-летию со дня основания ТПУ «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2021, Т. 2, с. 185-186.	2	Belozertseva N.E
2	Получение товарного дизельного топлива вовлечением биодизеля, синтезированного из различного растительного масла	Печатная	Материалы XXII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулева и Н.М. Кижнера, посвященной 125-летию со дня основания ТПУ «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2021, Т. 2, с. 33-34.	2	Белозерцева Н.Е. Киргина М.В.

3	Биодизельное топлива как добавка для улучшения предельной температуры фильтруемости дизельных топлив	Печатная	Материалы XXII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулева и Н.М. Кижнера, посвященной 125-летию со дня основания ТПУ «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2021, Т. 2, с. 94-95.	2	Белозерцева Н.Е.
4	Исследование влияния добавления биодизеля на физико-химические свойства дизельного топлива	Печатная	Материалы XXIV Всероссийской конференции молодых учёных-химиков (с международным участием): тезисы докладов, Нижний Новгород, 2021, с. 271.	1	Белозерцева Н.Е.
5	Анализ низкотемпературных свойств биодизельных топлив, полученных при различных параметрах синтеза	Печатная	Труды XXIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 75-летию Победы в Отечественной войне, «Проблемы геологии и освоения недр», посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, Томск, 2020, Т. 2, с. 321-322.	2	Белозерцева Н.Е.
6	Исследование влияния присадок на низкотемпературные свойства биодизельного топлива	Печатная	Материалы XXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2020, с. 416-417.	2	Белозерцева Н.Е.
7	Сравнение низкотемпературных свойств композиций с различным содержанием биодизельного топлива	Печатная	Материалы XXIII Всероссийской конференции молодых учёных-химиков (с международным участием): тезисы докладов, Нижний Новгород, 2020, с. 536.	1	Соснина Д.В. Белозерцева Н.Е.

8	Использование биодизельного топлива в качестве смесового компонента товарных дизельных топлив	Печатная	Материалы II Международной научно-практической конференции «Модернизация и инновационное развитие топливно-энергетического комплекса», Санкт-Петербург, 2019, с. 12-14.	3	Белозерцева Н.Е. Бальжанова А.Т. Соснина Д.В.
9	Производство зимнего и арктического дизельного топлива в процессе каталитической депарафинизации	Печатная	Труды XXIII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных «Проблемы геологии и освоения недр», посвященного 120-летию со дня рождения академика К.И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К.В. Радугина, Томск, 2019, Т. 2, с. 328-329.	2	Быкова В.В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 NDC Synthesis Report [Электронный ресурс]. – URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs/nationally-determined-contributions-ndcs/ndc-synthesis-report#eq-7> – Дата обращения: 26.05.2021.
- 2 Перспективы биотоплива: «за» и «против» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2021-april/5380269/> – Дата обращения: 26.05.2021.
- 3 Кучкина А.Ю., Сущик Н.Н. Источники сырья, методы и перспективы получения биодизельного топлива // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. – 2014. – № 1. – С. 14-42.
- 4 Возобновляемая энергия: Производство биотоплива / П.Д. Викаш Бабу, П.Д. Ашиш Таплиял, П.Д. Гириеш Кумар Патель. – Изд-во Scrivener Publishing LLC, 2014. – 250 с.
- 5 Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях / В.А. Марков, С.Н. Девянин, В.Г. Семенов, А.В. Шахов. – М.: «Инженер», 2011. – 534 с.
- 6 Бурункова Ю.Э. Растительные масла: свойства, технологии получения и хранения, окислительная стабильность: Учебно-методическое пособие / Ю.Э. Бурункова, М.В. Успенская, Е.О. Самуйлова. – СПб: Университет ИТМО, 2020. – 82 с.
- 7 Формула жира [Электронный ресурс]. – URL: <http://ru.solverbook.com/spravochnik/formuly-po-ximii/formula-zhira/> – Дата обращения: 29.03.2021.
- 8 Биодизель – инновационная разработка [Электронный ресурс]. – URL: <https://ineca.ru/?dr=library&library=bulletin/2009/0136/012> – Дата обращения: 29.03.2021.
- 9 Чернова Н.И., Киселева С.В., Попель О.С. Эффективность производства биодизеля из микроводорослей // Энергосбережение, новые и возобновляемые источники энергии. – 2014. – № 6. – С. 14-21.

- 10 Новопашин Л.А. Растительные масла, жирные кислоты, биодизель: учебное пособие / Л.А. Новопашин, Ю.В. Панков, Л.В. Денежко, С.Е. Щеклеин, А.М. Дубинин, А.А. Садов. – 2-е изд., доп. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ГАУ, 2020. – 192 с.
- 11 Сноре М., Маки-Арвеоа П., Симакова И.Л., Миллюойа Ю., Мурзин Д.Ю. Обзор каталитических методов производства биодизельного топлива из натуральных масел и жиров // Сверхкритические Флюиды: Теория и Практика. – 2009. – Т. 4. – № 1. – С. 3-16.
- 12 Беренблум А.С., Подоппелова Т.А., Шамсиев Р.С., Кацман Е.А., Данюшевский В.Я., Флид В.Р. Каталитическая химия получения углеводородных топлив из растительных масел и жиров // Катализ в промышленности. – 2012. – № 3. – С. 84-91.
- 13 Нагорнов С.А. Техника и технологии производства и переработки растительных масел: учебное пособие / С.А. Нагорнов, Д.С. Дворецкий, С.В. Романцова, В.П. Таров. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 96 с.
- 14 Черваков О.В., Филинская Т.Г., Копитон В.О. Способы переэтерификации жиросодержащего сырья методом алкоголиза // Вопросы химии и химической технологии. – 2009. – № 4. – С. 72-79.
- 15 Kelly C.N.R. Pedro, Juliana M. Parreira, Igor N. Correia, Cristiane A. Henriques, Marta A.P. Langone. Enzymatic biodiesel synthesis from acid oil using a lipase mixture. // Quim. Nova. – 2018. – Vol. 41. – № 3. – pp. 384-291 (<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170180>).
- 16 Способы ферментативной переэтерификации / этерификации, использование липазы, иммобилизованные на гидрофобных смолах, в водных растворах [Электронный ресурс]. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2573929C9/ru> – Дата обращения: 27.03.2021.
- 17 Гарабаджиу А.В., Галынкин В.А., Карасев М.М., Козлов Г.В., Лисицкая Т.Б. Основные аспекты использования липаз для получения биодизеля (обзор) // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (Технического университета). – 2010. – № 7 (33). – С. 63-67.

- 18 Гельфанд Е.Д. Технология биотоплив: учебное пособие / Е.Д. Гельфанд. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, 2012. – 60 с.
- 19 Справочник нефтепереработчика: Справочник/Под ред. Г.А. Ластовкина, Е.Д. Радченко и М.Г. Рудина. – Л.: Химия, 1986. – 648 с.
- 20 ГОСТ 305-2013 «Топливо дизельное. Технические условия [Электронный ресурс]. – URL: <http://vseghost.com/Catalog/56/56269.shtml> – Дата обращения: 27.03.2021.
- 21 Технический регламент таможенного союза «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902307833> – Дата обращения: 10.04.2021.
- 22 А.М. Данилов. Введение в химмотологию. – М.: Издательство «Техника». ООО «ТУМА ГРУППА», 2003. – 464 с.
- 23 Марков В.А., Девянин С.Н., Зыков С.А. Оптимизация состава биотоплив с добавками метиловых эфиров рапсового и подсол // Транспорт на альтернативном топливе. – 2016. – № 5 (53). – С. 12-30.
- 24 ASTM D7467 «Standard Specification for Diesel Fuel Oil, Biodiesel Blend (B6 to B20)» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.astm.org/Standards/D7467.htm> – Дата обращения: 08.04.2020).
- 25 Малайзия – Производство биотоплива [Электронный ресурс]. – URL: <https://knoema.ru/atlas/> – Дата обращения: 08.04.2020.
- 26 Obed M. Ali, Rizalman Mamat, Nik R. Abdullah, Abdul Adam Abdullah. Analysis of blended fuel properties and engine performance with palm biodieselediesel blended fuel // Renewable Energy. – 2016. – № 86. – pp. 59-67 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.103>).
- 27 Tanzer Eryilmaz, Murat Kadir Yesilyurt. Influence of blending ratio on the physicochemical properties of safflower oil methyl ester-safflower oil, safflower oil methyl ester-diesel and safflower oil-diesel // Renewable Energy. – 2016. – № 95. – pp. 233-247 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.04.009>).

- 28 R. Foroutan, H. Esmaeili, S.M. Mousavi, S.A. Hashemic and G. Yeganeha. The Physical Properties of Biodiesel-Diesel Fuel Produced via Transesterification Process from Different Oil Sources // Phys. Chem. Res. – 2019. – Vol. 7. – № 2. – pp. 415-424 (DOI: 10.22036/pcr.2019.173224.1600).
- 29 ГОСТ 31967-2012 «Межгосударственный стандарт. Двигатели внутреннего сгорания поршневые» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104634> – Дата обращения: 09.04.2020.
- 30 Загородских Б.П. Работа тракторного двигателя на биотопливе // Известия Нижневолжского Агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – № 2 (46). – С. 206-211.
- 31 ГОСТ 33-2016 Межгосударственный стандарт «Нефть и нефтепродукты. прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200145229> – Дата обращения: 27.03.2021.
- 32 Вискозиметр Штабингера SVM3000 (Anton Paar) [Электронный ресурс]. – URL: <http://granat-e.ru/svm3000.html> – Дата обращения: 27.03.2021.
- 33 ISO 12185:1996 «Нефть сырая и нефтепродукты. Определение плотности. Метод с применением осциллирующей U-образной трубки» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=3630660> – Дата обращения: 10.04.2021.
- 34 ГОСТ 32139-2013 Межгосударственный стандарт «Нефть и нефтепродукты. Определение содержания серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108321> – Дата обращения: 08.04.2021.
- 35 Спектроскан S [Электронный ресурс]. – URL: <http://techob.ru/katalog/katalog-priborov/12.-otraslevoe-oborudovanie/12.2.-analiz-nefteproduktov/soderzhanie-obshhej-seryi/spektroskan-s.html> – Дата обращения: 08.04.2021.

- 36 ГОСТ ISO 3405-2013 Межгосударственный стандарт «Нефтепродукты. Определения фракционного состава при атмосферном давлении» [Электронный ресурс]. – Дата обращения: 08.04.2021.
- 37 Аппарат АРНС-1Э для разгонки нефтепродуктов [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.optimum-lab.ru/product/apparat-arns-1e/> – Дата обращения: 08.04.2021.
- 38 DIN EN ISO 4264-2018 «Petroleum products. Calculation of cetane index of middle-distillate fuels by the four variable equation» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/551721699> – Дата обращения: 08.4.2021.
- 39 ГОСТ 5066-2018 Межгосударственный стандарт «Топлива моторные. Методы определения температуры помутнения, начала кристаллизации и замерзания» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160608> – Дата обращения: 08.4.2021.
- 40 ГОСТ 20287-91 Межгосударственный стандарт «Нефтепродукты. Методы определения температур текучести и застывания» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005428/titles> – Дата обращения: 08.04.2021.
- 41 КРИО-ВТ-05-02 Термостат жидкостный низкотемпературный [Электронный ресурс]. – URL: <https://termexlab.ru/#!/ru/product/krio-vt-05-02-termostat-zhidkostnyij-nizkotemperaturnyj-130520/> – Дата обращения: 08.04.2021.
- 42 ГОСТ 22254-92 Государственный стандарт союза ССР «Топливо дизельное. Метод определения предельной температуры фильтруемости на холодном фильтре» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007956> – Дата обращения: 08.04.2021.
- 43 ПТФ – установка для определения предельной температуры фильтруемости [Электронный ресурс]. – URL: <https://electroprogress.ru/catalog/control/oborudovanie-dlya-analiza-neftei-i-nefteproduktov/ptf-ustanovka-dlya-opredeleniya-predelnoi-temperatury-filtruemosti-dizelnykh-topliv> – Дата обращения: 08.04.2021.
- 44 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова,

Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

45 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.04.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.05.2021) [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ – Дата обращения: 26.04.2021.

46 Захаров Л.Н. Техника безопасности в химических лабораториях / Л.Н. Захаров. – Ленинград: Химия, 1991. – 336 с.

47 ГОСТ 12.1.007-76 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200233> – Дата обращения: 26.04.2021.

48 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901703278> – Дата обращения: 26.04.2021.

49 ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105707> – Дата обращения: 26.04.2021.

50 СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901704046> – Дата обращения: 26.04.2021.

51 ПБ 09-540-03 «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294844/4294844867.htm> – Дата обращения: 26.04.2021.

52 ГОСТ Р 12.1.019-2009 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»

[Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200080203> – Дата обращения: 26.04.2021.

53 Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е, пер. и доп. В трех томах. Том I. Органические вещества. Под ред. засл. деят. науки проф. Н.В. Лазарева и докт. мед. наук Э.Н. Левиной. – Л., «Химия», 1976. – 592 с.

54 Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е, пер. и доп. В трех томах. Том III. Неорганические и элементоорганические соединения. Под ред. засл. деят. науки проф. Н.В. Лазарева и докт. биол. наук проф. И.Д. Гадаскиной. – Л., «Химия», 1977. – 608 с.

55 О проведении специальной оценки условий труда в структурных подразделениях университета: приказ ректора ТПУ от 13.07.2018 г. № 9720.

56 СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?marker=6560Ю> – Дата обращения: 26.03.2021.

57 ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> – Дата обращения: 25.05.2021.

58 ГОСТ 12.1.004-91 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> – Дата обращения: 26.04.2021.

59 ПУЭ: правила устройства электроустановок [Электронный ресурс]. – URL: <http://etp-perm.ru/el/pue> – Дата обращения: 17.05.2021.

60 Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 N 426-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555/ – Дата обращения: 25.05.2021.

- 61 ГОСТ 17.2.3.02-2014 «Правила установления допустимых выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200109739> – Дата обращения: 03.05.2021.
- 62 ГОСТ 17.1.3.05-82 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных и подземных вод от загрязнения нефтью и нефтепродуктами» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003616> – Дата обращения: 03.05.2021.
- 63 ГОСТ Р 52105-2003 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация и методы переработки ртутьсодержащих отходов. Основные положения» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200032452> – Дата обращения: 03.05.2021.
- 64 ГОСТ Р 22.0.02-2016 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139176> – Дата обращения: 25.05.2021.
- 65 СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> – Дата обращения: 26.04.2021 г.

Приложение А

Таблица А.1 – Календарный план-график проведения НИР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _{к_i} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февр.		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	2													
2	Выбор темы исследования	Научный руководитель	1													
		Студент	1													
3	Поиск и изучение литературы по выбранной теме	Студент	4													
		Аспирант	2													
4	Календарное планирование экспериментов	Аспирант	1													
		Студент	1													
5	Поиск необходимых методик для проведения экспериментов	Аспирант	1													
		Студент	1													
6	Проведение экспериментов	Студент	71													

Продолжение таблицы А.1

7	Сопоставление результатов экспериментов и выявление зависимостей	Студент	4														
		Аспирант	2														
8	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель	4														
		Аспирант	4														
		Студент	4														
9	Составление пояснительной записки	Студент	21														
		Аспирант	4														
		Научный руководитель	3														
10	Сдача работы на рецензию	Студент	3														
11	Предзащита ВКР	Научный руководитель	1														
		Студент	1														
12	Подготовка к защите ВКР	Студент	7														
13	Защита ВКР	Студент	1														



– Научный руководитель



– Аспирант



– Студент